

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-251524

(43)Date of publication of application : 28.09.1993

(51)Int.Cl.

H01L 21/66

G01R 1/073

G01R 31/26

(21)Application number : 04-327011

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 07.12.1992

(72)Inventor : OKUBO KAZUO  
HAMA SOICHI  
FUJII AKIRA  
ITO AKIO  
OZAKI KAZUYUKI  
WAKANA SHINICHI  
GOTO YOSHIKI

(30)Priority

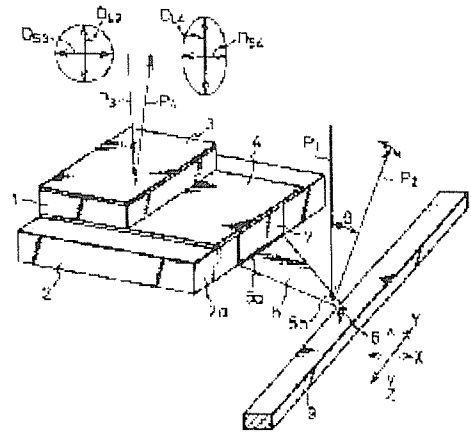
Priority number : 03324696    Priority date : 09.12.1991    Priority country : JP

## (54) PROBE EQUIPMENT AND INTEGRATED CIRCUIT INSPECTING EQUIPMENT

(57)Abstract:

PURPOSE: To make it possible to measure the voltage with a high space resolution and a high time resolution by providing the equipment with the specified crystal which induces an electro-optical effect and a connecting device which connects the crystal and the end of a probe at low electric resistance.

CONSTITUTION: This equipment has a fine probe 6 whose end part is formed of conductive material and a cantilever 5 whose one end is provided with the probe 6 and the other end fixed on a moving body 2 which can relatively move in the X, Y and Z directions from end to end and top to down of a sample (fine wiring) 9. It also has connecting devices 4, 7 which connect the crystal 1 and the end of the probe 6 at low electric resistance and displacement detecting devices P1, P2 which detect the displacement caused to the cantilever 5 due to the relative approach of the probe 6 to the fine wiring 9. The probe 6 is brought into contact with the detected fine wiring 9 and thereby voltage is applied to the specified crystal 1 through the connecting devices 4, 7 to induce an electro-optical effect on the crystal 1. By this method, the voltage can be measured with a high space resolution and a high time resolution.



(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/66	B	8406-4M		
G 0 1 R 1/073	F			
31/26	J	9214-2G		

審査請求 未請求 請求項の数15(全 46 頁)

(21)出願番号	特願平4-327011	(71)出願人	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地
(22)出願日	平成4年(1992)12月7日	(72)発明者	大窪 和生 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平3-324696	(72)発明者	濱 壮一 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
(32)優先日	平3(1991)12月9日	(72)発明者	藤井 彰 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内
(33)優先権主張国	日本 (J P)	(74)代理人	弁理士 青木 朗 (外3名)
		最終頁に続く	

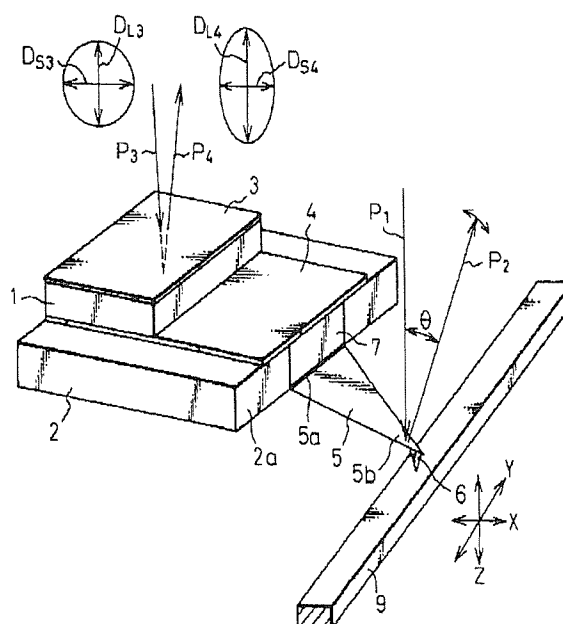
(54)【発明の名称】 プローブ装置および集積回路検査装置

(57)【要約】

【目的】 本発明は、集積回路の検査に好適なプローブ装置に関し、空間分解能と時間分解能を共に高めた電圧測定を実現することを目的とする。

【構成】 少なくとも先端部を導電性材料で形成した微細な探針6と、該探針を一端側に取り付けると共に、試料との間でXYZの各方向に相対的に移動可能な移動体2に他端側を固定したカンチレバー5と、電気光学効果を誘起する所定の結晶体1と、該結晶体と前記探針の先端部との間を低電気抵抗で接続する接続手段4、7と、前記移動体の前記試料に対する相対的な近接によりカンチレバーに生じる変位を検出する変位検出手段P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>と、該検出された変位に基づき決定された前記試料上の測定点に前記探針を接触させた時に前記結晶体に誘起される電気光学効果を利用して該測定点の電圧を測定する電圧測定手段P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>と、を具備するように構成する。

本発明のプローブ装置の一実施例の構成を示す斜視図



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 少なくとも先端部を導電性材料で形成した微細な探針と、

該探針を一端側に取り付けると共に、試料との間で X Y Z の各方向に相対的に移動可能な移動体に他端側を固定したカンチレバーと、

前記移動体を前記試料に対して相対的に移動させる手段と、

電気光学効果を誘起する所定の結晶体と、

該結晶体と前記探針の先端部との間を低電気抵抗で接続する接続手段と、

前記探針の前記試料に対する相対的な近接により前記カンチレバーに生じる変位を検出する変位検出手段と、

該検出された変位に基づき決定された前記試料上の測定点に前記探針を接触させた時に前記結晶体に誘起される電気光学効果を利用して該測定点の電圧を測定する電圧測定手段と、

を具備することを特徴とするプローブ装置。

【請求項 2】 請求項 1 に記載のプローブ装置と、集積回路内部の被測定配線近傍を観測するためのモニタ手段と、

前記プローブ装置およびモニタ手段を搭載すると共に、前記被測定配線との間で相対的に移動可能に設けられたステージ手段とを具備し、

該ステージ手段は、前記モニタ手段による観測と前記プローブ装置によるプロービングを可能にする開口部を有すると共に、該モニタ手段を搭載するモニタ手段用ステージと該プローブ装置を搭載するプローブ装置用ステージの少なくとも一方を有することを特徴とする集積回路検査装置。

【請求項 3】 前記ステージ手段を搭載する除振台をさらに具備し、該ステージ手段は、該除振台に対して少なくとも X Y の水平方向に移動可能であると共に、Z 方向軸を中心とする回転可能なテーブルを含むことを特徴とする請求項 2 に記載の集積回路検査装置。

【請求項 4】 前記除振台に対する前記被測定集積回路の相対位置関係を固定化する手段をさらに具備することを特徴とする請求項 3 に記載の集積回路検査装置。

【請求項 5】 請求項 1 に記載のプローブ装置と、集積回路のマスク図に関する情報が格納された設計データベースと、

ステージを任意の位置に移動可能なステージ制御装置を備えた制御用の計算機と、

前記マスク図の座標系と前記計算機上においてマスク図の座標で指定された配線パターンを顕微鏡像に表示するためのステージ座標を算定するためのアライメント情報を格納する手段と、

前記設計データベースから被測定配線の材料に関する情報を取得し、該材料の種類に応じて前記プローブ装置の探針の配線への接触圧力を決定する手段とを具備するこ

とを特徴とする集積回路検査装置。

【請求項 6】 L S I 等の集積回路の駆動および外部試験を行うテスト装置のステーション部に固定された架台に、試験対象となる L S I を取り囲むように設けられた第 1 の粗動手段としてのステージ手段と、

該ステージ手段の移動テーブル中央部に設けられた回転ステージと、

該回転ステージに設けられ、微動用のステージ手段を備えた請求項 1 に記載のプローブ装置と、

第 2 の粗動手段を持つ L S I 観測用のモニタ手段と、を具備することを特徴とする集積回路検査装置。

【請求項 7】 前記モニタ手段のモニタ画像を画像メモリにデジタルデータとして取り込み表示する手段と、前記プローブ装置のカンチレバーの変位量を画像信号データとして取り込み、少なくとも 1 次元の画像として表示する手段と、

前記プローブ装置の探針を前記画像を用いて決定された場所に位置決めし、前記微動用ステージ手段を用いて配線を切断破壊することなく電気的な接触を取るための制御手段と、

を具備することを特徴とする請求項 6 に記載の集積回路検査装置。

【請求項 8】 請求項 1 に記載のプローブ装置において、

前記カンチレバーの変位計測用のレーザ光と電圧計測用のレーザ光の光路が共に、該カンチレバー先端の微細探針の高さから、前記試料と反対側の所定の高さ範囲に収まるように配置されたことを特徴とするプローブ装置。

【請求項 9】 請求項 1 に記載のプローブ装置において、前記探針に接続された電極を前記カンチレバー基板に備え、スイッチ手段を介して該電極を外部の電圧制御手段に接続したことを特徴とするプローブ装置。

【請求項 10】 請求項 1 に記載のプローブ装置と、前記探針の水平移動時に前記試料に対する該探針の高さを一定に保つよう制御する手段と、

を具備することを特徴とする集積回路検査装置。

【請求項 11】 請求項 1 に記載のプローブ装置と、前記試料上の詳細な位置を探索する手段と、該試料上の測定点と前記探針との電気的な接続を保証する手段と、

を具備することを特徴とする集積回路検査装置。

【請求項 12】 請求項 1 に記載のプローブ装置と、前記結晶体の両端間に既知の電圧を印加する手段と、該結晶体から反射された光の偏光状態の変化を検出して該検出信号と電圧の対応関係を算定する手段と、該対応関係を用いて検出信号を電圧値に変換する手段と、

を具備することを特徴とする集積回路検査装置。

【請求項 13】 請求項 1 に記載のプローブ装置におい

て、

前記結晶体からなる第1基板の上部に光透過用の第2基板を設け、該第2基板を保持することにより当該プローブ全体を保持することを特徴とするプローブ装置。

【請求項14】 請求項1に記載のプローブ装置と、被測定集積回路表面を観察するためのモニタ手段とを具備し、前記プローブ装置のカンチレバーが、前記モニタ手段による観察光の大部分もしくは全部を透過させると共に、変位計測用レーザ光の一部もしくは全部を反射させるような特性を有していることを特徴とする集積回路検査装置。

【請求項15】 請求項1に記載のプローブ装置と、該プローブ装置のカンチレバーの部分に一定量の微小変位を与えるのに必要な微動機構の制御電圧の変化を利用して該プローブ装置の微細探針の磨耗量を決定する手段と、を具備することを特徴とする集積回路検査装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、電気回路を動作状態で検査する技術に係り、特に、LSI等の微細配線を含む集積回路の動作診断や解析を行うのに好適な新規のプローブを用いて電圧測定を行い、集積回路の検査に適用するための装置構成に関する。半導体集積回路（LSI）を開発および製造する上で、素子を試験して動作不良が有る場合にその原因を調べる（つまり故障解析を行う）ことが不可欠であるが、近年のLSIの高集積化、入出力（I/O）ピンの多数化により、LSIテスト等でI/Oピンの信号を測定するだけでは正確な設計検証や故障解析を行うことが困難になってきている。このため、LSI内部の微細配線の電圧測定、動作波形測定等の内部診断や解析が必要になる。例えば、先端を尖らせたプローブを測定箇所 directly に接触させ、該プローブで検出した信号を増幅してオシロスコープ等で測定する方法は、最も簡便で且つ基本的な手法である。しかしながら、プローブの大きさよりもはるかに微細な内部配線や内部電極の電圧を測定することは極めて困難であり、また測定精度も不十分であり、さらに配線間のショートといった2次障害の可能性もあるため、かかる手法には自ずと限界がある。そこで、新たな測定方法を開発することが要望されている。

【0002】

【従来の技術】微細化パターンの配線電圧測定に適した装置として、電子ビームや光ビームを利用する装置が知られている。電子ビームを利用する装置は、半導体集積回路内の微細配線（測定点）に電子ビームを照射し、その測定点から放出される2次電子量を検出することで当該配線電圧を測定するものであり、検出される2次電子の量は測定点の電圧に相関するという事実を利用してい

る。

【0003】一方、光ビームを利用する装置の一例としては、測定点の近傍に配置した所定の結晶体に光ビームを当てながらその結晶体を透過した光ビームまたは結晶体から反射された光ビームの偏光量を検出することで当該配線電圧を測定するようにしたものが知られている。これは、結晶体に外部電界（すなわち配線電圧）を印加するとその結晶体の屈折率が結晶構造で決まる異方性を持って変化する現象、つまり電気光学効果（electro-optic effect）を利用している。この電気光学効果の原理については、例えば文献：Valdmanis J. A., Electron. Lett. 23, 1308-1310, 1987 に示されている。

【0004】また、これに関連して、電圧の短時間（例えば1 ns以下）の変化を測定する場合、電子ビームと光ビームのいずれを用いる場合にも、連続したビームではなくパルス化したビームを用いて電圧測定を行う、いわゆるサンプリング法が用いられる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】電子ビームを利用する装置では、微細な測定点のサイズに合わせて電子ビームを細く絞り込む必要があり、その場合にはビーム中の電子数が減少し、それに応じて2次電子の数も減少するので、信号対雑音比（S/N比）が悪化するという問題がある。これを回避するためには、パルス化した電子ビームの1測定点に対するショット数を多くすることが考えられるが、この場合には測定に要する時間が長くなるという問題が生じる。また、測定の「時間分解能」を高くするために電子ビームパルスの時間幅を短くする場合にも同様の問題が提起される。ちなみに、2次電子の走行時間効果（2次電子の遅い走行速度に起因して生じる測定タイミングのぼけ）も加味すると、現在では5 ps（ピコセカンド）程度が時間分解能の上限であり、これよりも高い時間分解能の実現は、原理上、非常に困難である。

【0006】一方、光ビームを利用する装置では、例えば0.5 psを越える極めて高い時間分解能が実現されており、また、S/N比に相当する電圧分解能も上記電子ビームを利用する装置に比べて優れているが、空間分解能が光の波長で決まるために、超微細化パターンの配線電圧測定が極めて困難であるといった問題がある。ちなみに、現在では1 μm（マイクロメートル）程度までの微細化パターンに対して電圧測定が可能であるが、それ以下の微細化パターンに対しては電圧測定は非常に困難である。

【0007】このように、電子ビームを利用する装置は「空間分解能」が良いものの「測定時間」や「時間分解能」の点で不十分であり、また光ビームを利用する装置は逆に「測定時間」や「時間分解能」の点で優れているものの「空間分解能」の点で不十分であり、両者は互いに相反する利点および欠点を備えるものであった。ま

た、特に電気光学効果を利用した光ビームによる電圧測定装置では、光ビームの波長に比べて微細なサブミクロンオーダーの配線をプロービングする場合、配線への電気的な接触が不十分となる可能性があるといった問題があった。

【0008】本発明の主な目的は、かかる従来技術における課題に鑑み、空間分解能と時間分解能を共に高めた電圧測定を実現することができるプローブ装置を提供することにある。本発明の他の目的は、微細配線への電気的な負荷を増大させることなく該微細配線の電圧を安定にプロービング可能とし、ひいては電圧測定の精度向上に寄与することができるLSI検査装置を提供することにある。

【0009】本発明のさらに他の目的は、LSI等の微細配線を含む集積回路の動作診断や解析を行うのに好適な装置の各種改良例を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明の基本的な形態によれば、少なくとも先端部を導電性材料で形成した微細な探針と、該探針を一端側に取り付けると共に、試料との間でXYZの各方向に相対的に移動可能な移動体に他端側を固定したカンチレバーと、前記移動体を前記試料に対して相対的に移動させる手段と、電気光学効果を誘起する所定の結晶体と、該結晶体と前記探針の先端部との間を低電気抵抗で接続する接続手段と、前記探針の前記試料に対する相対的な近接により前記カンチレバーに生じる変位を検出する変位検出手段と、該検出された変位に基づき決定された前記試料上の測定点に前記探針を接触させた時に前記結晶体に誘起される電気光学効果を利用して該測定点の電圧を測定する電圧測定手段と、を具備することを特徴とするプローブ装置が提供される。

【0011】また、本発明の他の形態によれば、上述したプローブ装置と、集積回路内部の被測定配線近傍を観測するためのモニタ手段と、前記プローブ装置およびモニタ手段を搭載すると共に、前記被測定配線との間で相対的に移動可能に設けられたステージ手段とを具備し、該ステージ手段は、前記モニタ手段による観測と前記プローブ装置によるプロービングを可能にする開口部を有すると共に、該モニタ手段を搭載するモニタ手段用ステージと該プローブ装置を搭載するプローブ装置用ステージの少なくとも一方を有することを特徴とする集積回路検査装置が提供される。

【0012】

【作用】本発明の基本的な形態においては、微細な探針を例えば集積回路内部の微細配線に近づけると、該探針と微細配線の間に原子同士の原子間力が作用し、その力の大きさに応じた量の変位（撓み）がカンチレバーに生じる。従って、この撓み量を測定することにより、微細配線の形状や位置を精密に且つ正確に検出することがで

きる。さらに、検出された微細配線に探針を接触させ、この探針に生じた電圧（微細配線の電圧）を、接続手段を通して所定の結晶体に印加することにより、当該結晶体に電気光学効果を誘起することができる。以上により、「空間分解能」と「時間分解能」が高い測定が可能となる。

【0013】なお、本発明の他の構成上の特徴および作用の詳細については、添付図面を参照しつつ以下に記述される実施例を用いて説明する。

【0014】

【実施例】図1に本発明のプローブ装置の一実施例の構成が示される。図中、1は電気光学効果を誘起する所定の結晶体としての結晶、例えばBSO（ $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ）結晶、2は透明のプローブ基板を示す。BSO結晶1は、上面側にITO（ $\text{In}_2\text{O}_3\text{-SnO}_2$ ）電極等の透明電極（第1の電極3）を接着すると共に、下面側には光を反射させるための金属電極（第2の電極4）を接着しており、該第2の電極はプローブ基板2の片面に接着されている。

【0015】プローブ基板2の一方の端面2aには片持ち梁（カンチレバー：cantilever）5の基端5aが固定されており、カンチレバー5の自由端5bには微小な探針6が取り付けられている。このカンチレバー5は、極めて柔軟で且つ軽質量の材料（例えばバネ定数が $1\sim 10\text{N/m}$ 程度で、質量が $10^{-7}\sim 10^{-11}\text{N}$ 程度のシリコン窒化物）から成り、しかも一方が鏡面仕上げされている。なお、探針6の高さは約 $3\mu\text{m}$ 、カンチレバー5の長さは約 $0.2\text{mm}$ 、プローブ基板2の大きさは約 $1\text{mm}\times 2\text{mm}$ である。

【0016】ここで、カンチレバー5および探針6は、公知の走査型プローブ顕微鏡、例えば原子間力顕微鏡（AFM：Atomic Force Microscope）に含まれる構成部品と同等のもので構成されるが、係るAFMとの相違点は、①探針6の少なくとも先端部が例えば金属膜によって覆われ、導電性を有している点、②カンチレバー5の一方の面が、レーザ光の反射を良好にするために例えば金（Au）等の金属薄膜によって覆われ、これも導電性を有している点、③探針6の先端部とカンチレバー5の間が電氣的に接続されている点、の3点である。上記AFMについては、例えば、文献：G. Binnig, C. F. Quate, C. Gerber: Phys. Rev. Lett. 56,930, 1986を参照することができる。

【0017】カンチレバー5の基端5aと第2の電極4の間は配線7によって接続されており、該電極4は配線7およびカンチレバー5と共に、BSO結晶1と探針6の先端部との間を低電気抵抗で接続する接続手段を構成する。このような構成において、カンチレバー5の先端に取り付けた探針6を、例えば微細配線（金属材料からなる）9に接近させると、この微細配線9を構成する原子と探針6を構成する原子との間にいわゆる原子間力が

作用し、この作用力の大きさに応じた撓み量でカンチレバー5が変形する。例えば、探針6を微細配線9の表面に対してnm（ナノメートル）オーダーまで接近させると、探針6には反発力が作用するため、カンチレバー5は微細配線9から離れる方向に僅かに撓む。

【0018】カンチレバー5の撓み量は、カンチレバー5の一方の面（探針と反対側の面）にレーザ光 $P_1$ を照射し、その反射レーザ光 $P_2$ の反射角度（法線方向に対して $\theta/2$ ）を測定することによって検出できる。従って、探針6と微細配線9の間の平面的な相対位置関係を様々に変化（つまり走査）させながら、探針6の水平位置に対する上記反射角度の変化をプロットすることにより、微細配線9の高さ（H）、幅（W）および長さ（L）を測定でき、それぞれZ方向、X方向およびY方向の3次元的な空間形状を観測することができる。また、反射角度（ $\theta/2$ ）が一定になるように、微細配線（試料）9に対する移動体（この場合にはプローブ基板2）の相対的高さを調節しながら、探針6を微細配線9に対して走査し、探針6の水平位置に対して移動体2の高さをプロットすることによっても、試料表面の3次元的な形状を観測できる。

【0019】しかも、その「空間分解能」は、原子の大きさに対応した極めて微小なオーダーで与えることも可能であり、従来の光ビームを利用する装置に比べて、はるかに高い空間分解能を得ることができる。なお、通常のAFMでは原理的に原子オーダーの空間分解能を得ることも可能であるが、最近の配線パターンがサブミクロンオーダーの配線幅になってきていることを考慮すると、本実施例のように数十nm程度の分解能でも十分な測定精度を達成することができる。

【0020】一方、微細配線9の位置を検出した後に、当該微細配線9の電圧を測定する場合は、まず、その微細配線9の測定点の真上に探針6を位置合わせし、次いで、BSO結晶1と共にプローブ基板2を下方移動させて行き（あるいは逆に、試料9側を上方移動させて行き）、探針6と微細配線9を接触させる。微細配線9の測定点の電圧は、探針6、カンチレバー5および配線7を通して第2の電極4に与えられ、BSO結晶1の一方面に印加される。BSO結晶1の他方面には、第1の電極3の電位（例えばグランド電位、または所定のバイアス電位でもよい）が印加されており、これによって、BSO結晶1は、両面の電位差に対応した大きさの電界の影響を受けてその屈折率を変化させる（電気光学効果）。従って、BSO結晶1に所定の偏光を与えたレーザ光 $P_3$ を照射し、その反射レーザ光 $P_4$ の偏光変化を測定することにより、微細配線9の測定点における電圧の大きさを検出することができる。例えば、図示するように短径 $D_{S3}$ と長径 $D_{L3}$ が等しい円偏光のレーザ光 $P_3$ を照射すると、測定電圧の大きさに応じて楕円に変化したレーザ光 $P_4$ が観測されるから、その楕円の短径 $D_{S4}$

と長径 $D_{L4}$ の関係から測定電圧の大きさを知ることができる。

【0021】図2には図1の装置を含む全体システム構成が示される。同図において、基台10に固定された支持台11の上部に図1の装置、すなわちBSO結晶1、プローブ基板2、カンチレバー5および探針6からなるプローブが取り付けられている。探針6の下方には、微細配線を含む任意の試料（例えば半導体集積回路チップ）12が配置され、この試料12を例えばピエゾ・アクチュエータを用いたXYZステージ13によって3次元方向に微動可能に保持すると共に、さらにステージ13をXYZステージ14によって粗動可能に保持する。この粗動用ステージ14は基台10に固定されている。試料12は、原子間力によるカンチレバー5の撓み変形方向（Z方向）を含むX、Y、Zの各方向に粗移動と微移動が可能になっており、これらの移動は上記プローブとの間の相対的な移動である。従って、プローブの構成要素の一つであり、且つ、カンチレバー5の基端5aを固定するプローブ基板2は、発明の要旨に記載の「移動体」としての機能を有している。なお、移動の仕方はこの例に限らず、例えば試料12を固定して基板2側を移動させてもよいし、あるいは両者共に相対的に移動可能にしてもよい。

【0022】第1のレーザ光源15で発生したレーザ光 $P_1$ はカンチレバー5の一方面に照射され、該カンチレバーから反射されたレーザ光 $P_2$ は、その反射角度が位置検出受光器（例えばPSD：Position Sensitive Detector）16によって測定された後、その測定結果に基づいて配線検知／接触制御部17で試料12の表面の3次元情報（ライン・プロファイル）が再現される。なお、配線検知／接触制御部17は、LSI検査装置全体を制御するシステム制御部18の制御を受けて作動する。

【0023】第2のレーザ光源19で発生したレーザ光 $P_3$ は、偏光子20と1/4波長板21を通して所定の偏光が与えられ（図3（a）参照）、ビームスプリッタ22を介してBSO結晶1に照射される（図3（b）参照）。BSO結晶1から反射されたレーザ光 $P_4$ （図3（c）参照）は、ビームスプリッタ22を通り、更に偏光ビームスプリッタ23を通して2方向に分岐され、それぞれ受光器24a、24bに導かれる。各受光器24a、24bの出力は差動アンプ25を通して電圧測定制御部26に入力される。電圧測定制御部26は、配線検知／接触制御部17で検出された測定配線の位置に関する情報を、システム制御部18を介して受け取る。上記偏光ビームスプリッタ23は偏光子20と協働してニコルのプリズム（Nicol prism）を構成しており、所定の偏向光を選択的に通す働きをする。図2の構成においては、偏光ビームスプリッタ23で分岐されたレーザ光は、一方が平行型ニコル、他方が透過型ニコルを透過し

た光に相当する。これらの関係は図3（d）、（e）に示される。なお、図4（a）～（e）には、図3（a）～（e）に対応した他の偏光状態の例が示される。

【0024】受光器24a、24bで検出される光の量は、BSO結晶1の電界の大きさ、すなわち、試料12上の任意の測定点における電圧の大きさに応答し、平行型ニコルの場合には減少、交差型ニコルの場合には増大するから、各受光器24a、24bの出力あるいは該受光器の出力と測定点の位置情報とを関連付けて電圧測定制御部26から取り出すことにより、「時間分解能」を高めた電圧測定結果を得ることができる。なお、電気光学結晶1の材質や該結晶への電圧印加の形態、電圧測定用のレーザ光P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>の光路や偏光状態、偏光状態解析のための光学素子／検出器の数や配置等に関しては、この例に限定されないことはもちろんである。

【0025】なお、図2において、27は試料としてのLSIチップ12を動作させるための駆動信号を供給する試料駆動回路、28は電圧測定制御部26からの電圧測定結果と試料駆動回路27から出力されるトリガ信号に応答してレーザ光源19に対し光サンプリングのためのタイミング信号を供給するタイミング回路、29はプローブの透明電極3に所定の電気信号（0V、DCバイアス電圧、またはパルス信号）を印加するための可変電源を示す。

【0026】図5に本発明のプローブ装置の他の実施例の構成が示される。本実施例では、電圧測定手段（レーザ光P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>を含む光サンプリング系）を図1の「反射型」に代えて「透過型」とした点を特徴としており、このために、金属電極4に代えて光透過性のある透明電極4aを設けており、プローブ基板2も透明にしている。他の構成とその作用については、図1の実施例と同様であるので、その説明は省略する。

【0027】次に、図2の装置を用いた電圧測定方法について図6のフローチャートを参照しながら説明する。まず、ステップ30で試料12を微動用ステージ13に装着し、次いで、ステップ31で粗動用ステージ14をXYの水平方向に動かして試料12の位置を移動する。この時の移動制御は、後述するように例えば光学顕微鏡を用いて、測定対象部位（例えば微細配線）が存在するであろう大まかな目標領域の上空にプローブの探針6が位置するように行われる。

【0028】探針6が領域上空に到達すると、ステップ32で試料12表面の凹凸像すなわちライン・プロファイルを観測する。この観測は、探針6を試料12の表面ぎりぎりまで降下させ（実際には微動用ステージ13によって試料12をZ方向に上昇させ）、さらにステージ13によって試料12を探針6に対してXYの水平方向に走査しながら行われる。これによって、カンチレバー5に生じた撓みの量から、あるいは、撓み量を一定にするプローブ基板2と試料12の間隔から、探針6と試料

12間に作用する原子間力の大きさを測定する。

【0029】次のステップ33では、観測視野内に測定対象としての配線が見つかった（YES）か否（NO）かの判定が行われる。もし判定結果がNOの場合にはステップ34に進み、ステージ13によって試料12を微移動した後、ステップ32に戻る。ステップ33で測定対象の配線が見つかった場合（YES）にはステップ35に進み、探針6と試料12の測定対象部位の位置が一致するようにステージ13によって微移動させる。次のステップ36では、試料12を上昇させて測定対象部位と探針6を接触させる。次に、ステップ37では、プローブのBSO結晶1から反射されたレーザ光P<sub>4</sub>をビームスプリッタ22、23を通して受光器24a、24bに導き、その出力に基づいてBSO結晶1の屈折率変化、すなわち測定対象部位の電圧を測定する。次いで、ステップ38で測定対象が他に無い（YES）か否（NO）かの判定を行い、判定結果がYES、すなわち測定対象が他に無い場合にはこのフローは「エンド」となり、NOの場合、すなわち測定対象が他に有る場合にはステップ31に戻って、上記の処理を繰り返す。

【0030】以上説明したように本実施例のプローブ装置によれば、探針6を測定対象の微細配線に近づけると、探針6と微細配線の間に原子間力が作用し、その力の大きさに応じた量の撓みがカンチレバー5に生じるので、この撓み量を測定することにより微細配線の位置を精密且つ正確に検出でき、また探針6の微細な先端を検出された微細配線に接触させて電圧測定を行うので、電圧測定の「空間分解能」を高めることができる。また、検出された微細配線に探針6を接触させ、この探針6に生じた電圧を、接続手段（カンチレバー5、配線7および電極4）を通して電気光学結晶1に印加することにより、当該結晶1に電気光学効果を誘起することができ、電圧測定の「時間分解能」を高めることができる。

【0031】なお、微小探針6と微細配線の間に作用する力は、上記の原子間力に限定されない。例えば、静電力や磁気力、あるいはファンデルワールス（van der Waals）力であってもよい。図7～図11は図1のプローブ装置の変形例を示す。図7に示す変形例において、40はカンチレバー5の一方面（変位計測用レーザ光の反射面）側に所定の間隔をおいて配設された透明板を示し、該透明板40はカンチレバー5の撓み量を所定量以下に規制する規制手段として機能する。例えば、図7（a）に示すようにカンチレバー5と透明板40が接触しない配線探索時には、カンチレバー5の撓み変形をスムーズに許容し、また、図7（b）に示すようにカンチレバー5と透明板40が接触する配線電圧測定時には、カンチレバー5の撓み変形を禁止する。

【0032】この構成によれば、配線電圧測定時における撓み変形を所定量以下に規制できるので、カンチレバー5のバネ定数を極力小さくした場合の不都合、つま

り、探針6と測定配線の間の押圧力不足に伴う接触抵抗の増大を防ぐことができ、特に微小電圧の測定精度を向上できるという利点が得られる。なお、図7の構成では透明板をプローブと別個に設けた場合について説明したが、透明板の設け形態はこれに限定されない。例えば、図8に示す変形例のように、透明板50をプローブ基板2と一体的に形成してもよい。この場合、配線電圧測定時には図8（b）に示すように、カンチレバー5と透明板50とが接触するので、図7の場合と同様に、カンチレバー5のそれ以上の撓み変形を規制できる。図9はその具体的な構成を示し、この例ではプローブ基板2の一部を延長して透明板50を形成している。なお、別個に製作した透明板をプローブ基板2に取り付けるようにしても構わない。

【0033】また、規制手段（透明板40、50）は、カンチレバー5の撓み方向に沿って微小移動可能にプローブ基板2に弾性支持されたものであってもよい。図10に示す変形例において、60はカンチレバー5の一方（変位計測用レーザ光の反射面）側に所定の間隔をもって設けられた別のカンチレバー（以下、このカンチレバーを副カンチレバーといい、この場合にカンチレバー5の方を主カンチレバーという）を示す。副カンチレバー60は、カンチレバー全体のバネ定数を変更する手段として機能し、所定のバネ定数で且つ透明な材料で形成されている。主カンチレバー5に所定量以上の撓み変形が発生した場合に、両方のカンチレバー5、60が互いに接触する（図7（b）参照）。

【0034】この構成によれば、配線電圧測定時における主カンチレバー5の撓み変形を主カンチレバー5および副カンチレバー60の合計のバネ定数で弾性的に規制することができる。また、副カンチレバー60のバネ定数を調節することにより、規制のための弾性力を自在に変更できる。従って、配線電圧測定時における探針6と測定配線間の過大な接触力を回避でき、例えば測定配線の損傷を防止できると共に、主カンチレバー5の損傷などプローブの障害を防止できる。図11はその具体的な構成を示し、この例ではプローブ基板2の側面に主カンチレバー5と副カンチレバー60を取り付けるようにしている。

【0035】なお、図10の例示では副カンチレバー60は1枚のみの構成としたが、測定条件に応じて適宜複数枚設けてもよい。図12に本発明のLSI検査装置の一実施例の構成が示される。

【0036】同図において、100はLSIの配線をプロービングするための走査型プローブ（例えば図1において電圧測定用およびカンチレバー変位測定用の光学系を除いた部分に相当する）、102は電圧測定用の光サンプリング手段、104はプローブヘッド（走査型プローブ100と光サンプリング手段102）を搭載すると共に、XYの水平方向に微動可能に配置されたプローブ

ヘッド用ステージ、106は試料（LSI）の表面を観測するための光学顕微鏡、108は光学顕微鏡106で観測された像を画像信号に変換するためのCCDカメラ、110は光学顕微鏡106を搭載すると共に、X方向に微動可能に配置された光学顕微鏡用ステージ、112はプローブヘッド用ステージ104と光学顕微鏡用ステージ110を搭載すると共に、XYの水平方向に粗動可能に配置された第1のステージ、114は第1のステージ112を搭載する除振台、そして、116は第1のステージ112と除振台114を貫通して設けられたLSI観察用およびプロービング用の開口部を示す。

【0037】この構成において、開口部116を通して光学顕微鏡106で測定対象の配線を観察し、走査型プローブ100を被測定配線に近接させ、ライン・プロファイルを取得して該プローブ100を測定対象の配線に位置決めする。配線電圧はプローブ100により電気光学（EO）結晶に導かれ、電気光学効果を誘起する。この場合、走査型プローブを200～300μm以下の長さにするにより、微細配線に電氣的な負荷を与えずに電圧測定を行うことができる。

【0038】図13には配線へのプロービングの様子が示される。図13（a）はLSIチップ120の周辺部の配線パターンを示す。この例では、測定配線122が隣合うボンディング・ワイヤ124の間に位置している。従って、図13（b）に示すようにプローブ100の接近方向によっては、該プローブとボンディング・ワイヤ124が互いに干渉し、不都合である。このような測定パターンの場合には、図13（c）に示すように接近方向を変えて、つまり干渉が生じないようにプロービングを行う必要がある。

【0039】図14にこの様なプロービングが可能な構成例を示す。この例では、除振台114に対してXYの水平方向に移動可能な第1のステージ112の上に、Z方向軸を中心とする回転が可能な第2のステージ（回転ステージ）118を搭載し、この回転ステージ118の上にプローブヘッド用ステージ104と光学顕微鏡用ステージ110を搭載している。これによって、上述したようにボンディング・ワイヤにより走査型プローブの配置が制限されるLSIチップ周辺部の配線へのプロービングが可能になる。

【0040】図15に上記プロービングが可能な他の構成例を示す。この例では、除振台114aに、Z方向軸を中心とする回転が可能な回転ステージ118aを搭載すると共に、XYZの3軸方向に微動可能であって且つLSIチップ120を搭載するステージ130を搭載している。これによって、上述したようにボンディング・ワイヤにより走査型プローブの配置が制限されるLSIチップ周辺部の配線へのプロービングが可能になると共に、図14に示すような第1のステージ112が無い分だけステージ全体を小型化できるという利点がある。



【0041】図16は、架台140を含めたLSI検査装置200の全体構成を示したものである。検査装置200は振動を嫌うため、エアダンパ142等の振動遮断手段を介して架台140に搭載することが必要である。また、LSIチップの駆動はLSIテスタで行われるため、該LSIテスタのテストヘッド150を除振台114の下に配置できる構造にすることが必要である。

【0042】この際、テストヘッド150と検査装置200の結合は、ステージ112、118の傾斜の防止とテストヘッド150の振動の除去のための対策がなされる必要がある。図17は、回転ステージ118の回転による除振台114の傾きの様子を概略的に示したものである。回転ステージ118の回転により装置全体の重心位置が移動し、エアダンパ142による高さ補正作用が追従しきれない場合、ステージ118の傾斜が発生する。この場合、光学顕微鏡106の光軸を回転の中心軸に一致させて配置したとしても、視野の「逃げ」が発生する。これを防止するためには、回転ステージ118上の検査装置の重心位置を可能な限り回転軸に近づけるように配置することが必要である。例えば、回転ステージ118の外側にカウンタバランス（図示せず）を配置すれば、ステージ重量の抑制と共に、バランスの補正を行うことが可能となる。

【0043】また、LSIチップ表面や内部の絶縁膜を除去して被測定配線を露出させるためのレーザ加工装置（図示せず）を有する検査装置では、レーザ加工装置の重心位置がステージの回転軸に対してサンプリング光学系の重心位置とほぼ対称の位置関係となり、且つ、レーザ加工装置とサンプリング光学系の重量がほぼ等しくなるように、レーザ加工装置とサンプリング光学系を配置することが効果的である。

【0044】テストヘッドと除振台の相対振動の主な原因は、テストヘッド内部の冷却ファンの回転による。この相対振動は数10 $\mu$ mの振幅を有し、また、床振動によりテストヘッドと架台を含む検査装置とが独立に振動するため、堅固な床に固定した場合でも1 $\mu$ m以上の振幅の振動を避けるのは容易ではない。LSIは一般にテストヘッド上のDUT (Device Under Test) ボード（例えば図18のDUTボード152）の中央に配置され、テストヘッドと除振台が近接して配置されるため、もし、テストヘッドの剛性が十分に高い場合は、テストヘッドを何らかのクランプ手段で把握することにより、テストヘッドと検査装置の相対振動を抑制することができる。

【0045】例えば図18に示すように、テストヘッド150にガイドピン154を設け、当該ガイドピンを除振台114に設けた対応するガイド孔156に嵌合させることにより、テストヘッド150と除振台114の相対位置を確定することができる。さらに、図19に示すように、アクチュエータ158によって駆動されるクラ

ンプ160によりテストヘッド150を把握して機械的に一体の構造にすることにより、相対振動を除去することができる。

【0046】また、DUTボード152の固有振動が問題になる場合には、図20(a)、(b)に示すように、アクチュエータ162によって駆動されるクランプ164によりLSIパッケージ120を直接把握して、該LSIパッケージ120が機械的に除振台114に設置されるように構成することにより、上記相対振動をほぼ完全に除去することができる。この例では、LSIパッケージの側面を挟み込むように把握しているが、LSIパッケージの固定は、パッケージのフラットな面を除振台に真空吸着することによっても可能である。

【0047】また、LSIに供給する信号の帯域の劣化が許容される場合には、例えば図21に示すように、LSIチップ120とそれを搭載するソケット166を例えばねじ168等を用いて除振台114に固定し、DUTボード152との間でフレキシブルな配線170で結合することにより、振動の影響を受けるのを防止することができる。

【0048】LSI検査装置を構成する場合、LSIを観測しながら視野の粗移動を行うための光学顕微鏡とプローブヘッド（走査型プローブと光サンプリング手段）を互いに干渉しないように配置することが必要である。また、走査型プローブの走査速度を確保するために、走査型プローブ部分の重量の低減には特別な配慮が必要である。

【0049】先ず干渉の防止に関しては、光学顕微鏡がプローブヘッドのいずれかを選択的に使用する方式と、本質的に干渉の無い構造とする方式が考えられる。図22に示す構成例では、光学顕微鏡106に取り付けた回転ホルダ180を用いて光学顕微鏡の対物レンズ107を退避可能にし、且つ、プローブヘッド用ステージ104の移動によりプローブヘッドを退避するようにしている。光学顕微鏡106の焦点が短い場合には、光学顕微鏡106を試料（LSIチップ120）に近接することが必要となるため、同図(a)に示すように、電圧測定用レーザ光P<sub>3</sub>、P<sub>4</sub>と変位測定用レーザ光P<sub>1</sub>、P<sub>2</sub>が光学顕微鏡106と干渉する。従って、光学顕微鏡106によるLSI観測時以外、つまり電圧測定時に、同図

(b)に示すように、対物レンズ107をプローブヘッドと干渉しない位置に退避させることにより、光学顕微鏡とプローブヘッドの干渉を防止することができる。

【0050】また、図23に示すように、電圧測定時に光学顕微鏡106をZ軸上方に機械的に移動可能に構成することにより、同様に干渉を避けることができる。また、図12に示したように、光学顕微鏡106とプローブヘッド100、102を共に移動させることにより、干渉を避けることも可能である。また、作動距離が長く且つ高分解能の光学顕微鏡を使用することが可能な場合

は、走査型プローブ近傍のEOサンプリング光学系（電圧測定系）を焦点距離に比較して薄くすることにより、光学顕微鏡によるLSIの観察を行いながら、走査型プローブの位置決めを行ういわゆる「その場観察」が可能となる。

【0051】図24は、図12の装置におけるプローブ走査系の構成（a）を通常のAFM走査系の構成（b）と対比させて概略的に示したものである。同図において、100は走査型プローブ、101はAFMのカンチレバー、120、120aは試料、184は除振台、186、186aは基台、188はXY方向に移動可能なステージ、190、190aはZ方向に移動可能なステージ、192は変位測定用のレーザ光学系、194、194aは基台、196、196aは位置検出受光器（PSD）を示す。（a）と（b）の違いは、試料120を固定しておいてプローブ走査系の方を移動させるか、あるいは、AFM走査系の方を固定しておいて試料120aの方を移動させるかの違いに起因するものである。通常のAFM走査系では、観察試料120aが極めて小さいため、試料側を走査することが可能である。そのため、AFMのカンチレバー、レーザ光学系、PSD等から構成されるAFM部分は高剛性のステージに固定しておくことが可能である。一方、本実施例のような装置では、LSI（試料）120が除振台184に対して機械的に設置された構成をとるため、プローブ走査系全体を移動させることが必要となる。そのため、プローブ走査系の部分の剛性の確保、走査速度確保のための軽量化に配慮することが必要である。

【0052】図25にはプローブ走査系の部分の重量を軽減するための幾つかの手段が示される。図中、ハッチングで示される部分は走査が必要な部分である。EOサンプリング結晶が走査型プローブ100と一体化あるいは近接して配置されているため、走査型プローブ100とサンプリング光学系102の相対位置関係は、ほぼ一定に保たれる必要がある。この場合、EO結晶上のレーザ照射点変化による電圧測定特性のばらつきを抑えるため、位置誤差は10 $\mu$ m以下に保たれる必要がある。

【0053】図25（a）は、走査型プローブ100とサンプリング光学系102をプローブヘッド用ステージ104に搭載して、該ステージ全体をAFM走査する場合の構成を示している。ステージ重量が重くなり走査速度が低下するという問題点、ステージを数センチ単位で移動させるための粗動機構と、AFM走査（数 $\mu$ mの範囲を数10nmの分解能で走査）のための微動機構が必要となり、非現実的である。

【0054】より現実的な配置としては、図25（b）に示すように、プローブ用のAFMステージ104aとサンプリング光学系用のステージ104bを別構成にし、それぞれステージ112上に搭載し、互いに同期させて移動する方法がある。10 $\mu$ m程度の誤差によるス

テージの同期移動は容易である。また、AFMステージ104aが軽量化されるので、走査速度の向上が可能となる。

【0055】図25（c）は、プローブヘッド用ステージ104にAFMステージ104aを搭載した構成を示している。走査型プローブ100の走査範囲は数 $\mu$ mから数十 $\mu$ mであるので、プローブヘッド用ステージ104の移動精度は2 $\mu$ m程度で十分である。例えば、図26、図27に示すAFMステージ210を図28に示すようにプローブヘッド用ステージ220で抱え込む構成が考えられる。この場合、プローブヘッド用ステージ220が粗動調整を行い、図には示していないがAFMステージ210が例えばピエゾ・アクチュエータによる微動調整を行うような構成が適当である。

【0056】なお、図26において、212はカンチレバー変位測定用のレーザ光源、214はレーザ光源212からのレーザ光を走査型プローブ100aのカンチレバーに指向させるためのミラー、216はカンチレバーから反射されたレーザ光を受光系（レンズ217およびPSD218）に指向させるためのミラーを示す。また、図27は図26のAFMステージ210の先端部に設けられた走査型プローブ100aの構造を示すもので、該プローブは基本的には図1のプローブ装置と同等の構成を有している。また、図29は図28のA-A'線に沿った断面構造を概略的に示している。

【0057】AFMステージの部分の小型化、軽量化のためには、AFM光学系における変位検知手段の小型化が有効である。例えば、図30に示すように走査型プローブ100bの探針6のZ方向の変位を走査型トンネル顕微鏡（STM）探針230で測定する手段を設けたり、図26、図29および図31に示すように、カンチレバー変位測定用レーザ光の光路を折り曲げることで、AFMステージの高さや寸法を抑えることができ、小型化に有効となる。なお、図30において、232はSTM探針230に対してZ方向の微小走査を可能にするためのピエゾ薄膜、234は絶縁膜、236はバイアス電極を示す。また、図31において、210a、210bはAFMステージ、212a、212bはレーザ光源、213a、213b、217a、217bはレンズ、214a、214b、216a、216bはミラー、218a、218bはPSDを示す。

【0058】なお、走査型プローブの特に配線に接触する部分の径は例えば0.1 $\mu$ mであり、機械的に非常に弱いので、容易に取替え出来る構造であることが望ましい。図32および図33にプローブの着脱機構の構成例が示される。図32に例示する構成では、EO結晶242、246の上にそれぞれ透明電極244、248を接着したものを重ね合わせ、透明電極244はスイッチ250を介して保持電圧V<sub>1</sub>の電源252に切り換え接続され、透明電極248はバイアス電圧V<sub>2</sub>の電源254

に接続されている。この構成において、スイッチ250をグランド(0V)側に切り換えた時、EO結晶246の両端にバイアス電圧 $V_2$ が印加されるので、同図

(a)に示すようにプローブ100cはEO結晶242から離脱された状態(リリース状態)となる。一方、スイッチ250を電源252側に切り換えた時、EO結晶242の透明電極244には保持電圧 $V_1$ が印加されるので、同図(b)に示すようにプローブ100cはEO結晶242に静電吸着される(保持状態)。なお、この構成においてプローブ100cの上面がサンプリング光の反射面となる。保持電圧 $V_1$ の影響は、光路の往復でキャンセルされるため、測定結果には影響しない。

【0059】図33に例示する構成では、ダイヤモンド260でEO結晶262を保持し、ダイヤモンド260に設けた圧電薄膜266で伸縮する上部リード部268および下部リード部270により、走査型プローブ100cを保持する基体272を保持するようにしている。なお、262はサンプリング用レーザ光を透過するための透明電極である。この構成によれば、EO結晶262とプローブ100cの保持機構(基体272)が完全に分離されるため、結晶が保護されるという利点がある。

【0060】図32、図33のプローブ着脱機構を含むEO結晶は、例えば図27に示したようなレバーに搭載して基台に取り付けることが可能である。レバーは、数mmのオーダーの大きさを持つため、放電加工で作成する。レバーと基台は金ペーストといった接着剤で保持すればよい。また、EO結晶とレバーは、透明な接着剤で接続すればよい。EO結晶のEO光学系に対する面の補正は、レバー部分の圧電薄膜による撓みを利用して行う。また、走査型プローブの走査は、基台をピエゾ素子などに取り付けて3軸走査を行えばよい。

【0061】図34にスペアプローブの保持機構が概略的に示される。この構成では、各スペアプローブ280に対して1個ずつのプローブ静電吸着用電極282を備えている。プローブの着脱は、レバー先端に現在取り付けられている電極をリリースし、例えば真空ピンセット等で取外し、次にプローブ保持用の電圧をかけたままスペアプローブの位置に移動し、スペアプローブをリリースすることにより、スペアプローブがEO結晶に静電吸着される。

【0062】以上説明したように交換によってプローブの破壊に対処する方式の他に、例えば、プローブ点の材料に応じて積極的にプローブの接触圧力を制御し、プローブ圧力を測定に必要な最低値に設定することでプローブの破壊を遅らせることも可能である。例えば、図35に示すように、レイアウト情報(マスク図)といったLSIの設計データベース302と、マスク図の座標系(CAD座標)とCAD座標で指定された配線パターンを顕微鏡像に表示するためのステージ座標を算定するためのアライメント情報を格納するメモリ手段304と、

測定箇所を外部から指定するための手段(例えばマウス等)306と、マスク図を可視表示するための手段(例えばCRT等)308と、302~308の各構成要素と動作可能に接続され、且つ、LSI検査装置310内のステージ・コントローラ312を制御する制御装置300とを具備し、設計データベース上で指定の箇所へのステージの移動と、顕微鏡像で表示されている部分のマスク図等の設計情報の表示を可能とすることにより、測定点まで素早く粗移動が可能になると共に、設計データベースから測定点の材料情報を読み出して走査型プローブの接触圧力を決定することが可能となる。

【0063】また、図36に示すように、LSI検査装置310a内の画像入力手段314を通して供給される光学顕微鏡像のデータと制御装置300aを介して供給されるマスク図のデータとの間のズレを補正するアライメント手段320を備えることにより、プローブ位置制御手段316に供給されるべきプローブの位置座標を補正し、接触圧力情報と併せて自動ブローピングを行うことができる。

【0064】図37には図36の装置が行うアライメント補正処理のフローチャートが示される。まず、ステップ330では入力手段306により測定箇所を指定し、次のステップ331では、制御装置300aが設計データベース302からマスク図の情報を読み出し、そのマスク図データをアライメント手段320に送る。ステップ332では、制御装置300aがステージ・コントローラ312にステージ座標を通知する。次のステップ333では、画像入力手段314が光学顕微鏡像を入力し、そのデータをアライメント手段320に転送する。次いで、ステップ334ではアライメント手段320が光学顕微鏡像のデータとマスク図のデータのパターンマッチングを行い、次のステップ335では、プローブ座標を算定して、そのプローブ座標データをプローブ位置制御手段316に供給する。以上のステップは粗動に関する処理である。

【0065】次に、ステップ336では画像入力手段314が数 $\mu\text{m}$ 平方程度の所定領域のAFM像を入力し、さらにステップ337では、制御装置300aが設計データベース302から対応領域のマスク図の情報を読み出し、そのデータをアライメント手段320に送る。ステップ338ではAFM像のデータとマスク図のデータのパターンマッチングを行い、次のステップ339ではプローブ座標を算定してそのデータをプローブ位置制御手段316に供給し、さらにステップ340では、そのプローブ座標データに基づいてプローブの移動が行われる。以上のステップは微動に関する処理である。

【0066】図38には図36の装置が行うプローブ接触圧力決定処理のフローチャートが示される。まず、ステップ350では入力手段306により測定箇所を指定し、次のステップ351では、制御装置300aが設計

データベース 302 から測定配線の材料に関する情報を読み出す。ステップ 352 では、当該材料の接触圧力が定義されている (YES) か否 (NO) かの判定を行い、判定結果が YES の場合にはステップ 353 に進み、プローブ接触圧力を設定した後、本フローは「エンド」となる。

【0067】ステップ 352 において判定結果が NO の場合には、ステップ 354 で接触圧力を所定量増加し、さらにステップ 355 で測定電圧の DC ドリフトの評価を行う。次いで、ステップ 356 において上記 DC ドリフトが基準値以下 (YES) であるか否 (NO) かの判定を行い、判定結果が NO の場合にはステップ 354 に戻り、DC ドリフトが発生しなくなるまで徐々に接触圧力を増していく。ステップ 356 で判定結果が YES の場合には、ステップ 357 に進み、新たにプローブ接触圧力を登録し、この後、フローは「エンド」となる。

【0068】次に、本発明の LSI 検査装置の具体的な配置・構造について、図 39～図 45 を参照しながら説明する。前述した光ビームを用いる検査装置では、微細探針の押し付け力を高精度で制御して測定配線に接触させることにより、配線を切断破壊することなく配線電圧を光ビームによる電圧センサ部までひき出すことを可能にし、光ビームだけでは配線幅 0.3  $\mu\text{m}$  以下の将来の超 LSI の診断に不足していた「空間分解能」を向上させるものであった。しかしながら、従来、数オングストロームといった極めて高い空間分解能を追求してきた AFM では、観測試料としてはほとんど板状もしくは小さなものであり、半導体産業分野でもせいぜい板状のウエハまでが比較的容易に観測できるものとなっており、LSI テスタ等により駆動される LSI を、しかもパッケージ化された LSI も試料としなければならない LSI の動作診断、解析を行うプローブ装置には、従来の AFM の装置構造をそのまま使用することは困難である。また、レーザ光による電圧測定手段として、電気光学効果を利用した電圧測定系 (EO 系) を考える場合、従来の配置・構造そのままでは、AFM プローブと組み合わせることは、困難である。

【0069】すなわち、従来の配置・構造では、LSI テスタなどの駆動装置に搭載された LSI の AFM 像を求めるためには、試料を 3 次元ステージに搭載し、走査・画像取得を行う従来の AFM 構造では、試料部が大きくなり過ぎて不可能である。また、AFM プローブおよび電圧センサ部の取り付け部の下面は、LSI 駆動用の配線基板、駆動回路等が有り、またこれらの移動のために、かなり大きな自由空間が必要であり、従来構成では困難である。実用的にはせいぜい 100  $\mu\text{m}$  以下と狭い視野しか実現できない AFM だけでは、数十 mm 平方の LSI チップ内の測定配線を探し出すことは困難であり、このために、少なくとも数 100  $\mu\text{m}$  平方の視野を得ることのできる光学顕微鏡が必要となるが、これを A

FM 系および EO 系と干渉することなく配置することが困難である。またこれに関連して、LSI テスタなどからの駆動信号の入力部および LSI を搭載する配線基板、あるいは駆動回路などから構成される LSI 搭載台を載せ、数十 mm 平方のチップ内の測定配線を探索するために移動させる手段がない。さらに、パッケージに収納された LSI チップの場合、チップはパッケージ内で 0.数 mm～1 mm 奥まった部分に設けられているため、チップの周辺部は、パッケージの壁と AFM プローブ基板が衝突し、測定することができない。

【0070】このような不都合を解消するために、図 39～図 41 に示す各実施例では、以下の手段を講じている。

(a) 走査型プローブ、電圧センサ部 (EO サンプリグ系) およびカンチレバー変位測定部、電圧測定部を微動ステージ上に全て搭載する構造とし、試料 LSI および駆動回路等の大型部品の微動を不要とした。

【0071】(b) 微動ステージは一枚の平板構造とすることにより、微動ステージ下方には、LSI およびその駆動に必要な配線基板、駆動回路と干渉し合う突出部がないようにした。

(c) 微動ステージを第 1 の粗動ステージに搭載し、この第 1 の粗動ステージと同期して移動可能な大視野観測用の光学顕微鏡を設け、光学顕微鏡と微動ステージ (走査型プローブ) とを一体として移動させるようにして、測定配線の概略位置探索を光学顕微鏡で行い、詳細位置探索とプローブの配線上位置決めに関しては走査型プローブで行うようにした。

【0072】(d) 3 次元微動ステージ全体を回転ステージに搭載することにより、走査型プローブの方向を任意に変えることができるようにし、パッケージ化された LSI の奥まった部分に固定配置されたチップ全体の表面形状を観測可能にし、またプロービングを可能とした。

(e) 微動ステージは、除振台に搭載された架台に、LSI 搭載台を載せた第 1 の粗動ステージと共に設置され、AFM プローブの概略位置決めを LSI 搭載台の第 1 の粗動ステージで行い、AFM 像を求めるための AFM プローブの移動を微動ステージで行うようにした。

【0073】(f) 大視野観測用の光学顕微鏡を、上記第 1 の粗動ステージおよび微動ステージとは機械的に分離された架台に第 2 の粗動ステージを介して搭載し、測定配線の概略位置探索を光学顕微鏡で行えるようにした。

以上の (a)～(f) の手段を講じることにより、大型の駆動装置に装着された LSI を固定したままで、光学顕微鏡観測、走査型プローブの微細探針とレーザ光による電圧測定、LSI の診断、解析が可能となる。

【0074】以下、図 39～図 41 を参照しながら具体的に説明する。図 39 には具体的な配置・構造の一例が

示される。LSIの駆動装置であるLSIテストのステーション部400にはパフォーマンスボード402が搭載され、該ボード上にはLSIソケット404を介して、診断および解析の対象となるLSIチップ406が搭載されている。また、LSIテスト・ステーション部400上に固定されたプローブ架台420の上に、XYZの各方向にそれぞれ粗動可能なステージ430X、430Y、430Zが搭載されており、粗動用Zステージ430Zには、モータ435によって回転駆動される回転ステージ440が係合して設けられている。この回転ステージ440には、ピエゾ・アクチュエータ442によって駆動される微動用Zステージ450Zが係合しており、さらに微動用Zステージ450Zには、ピエゾ・アクチュエータ444によって駆動される微動用XYステージ450X、450Yが係合している。各ステージはパルスモータ等の駆動手段により制御される。微動用XYステージ450X、450Yは、一枚の板から中央部および板パネ形成部がくり抜かれた構造(図42参照)をしており、中央部には走査型プローブ410および電圧センサ部416を保持するための支持部(図42において452で示される)が残されている。また、微動用XYステージ450X、450Yの周辺部には、カンチレバー変位測定用レーザ光のレーザ光源412および位置センサ414と電圧測定部418が搭載されている。

【0075】また、粗動用Zステージ430Zには、大視野観測用の光学顕微鏡460が架台470を介して搭載されている。光学顕微鏡460は、顕微鏡用架台470に直接固定されてもよいが、さらに取扱いを容易とするには(例えば、レーザによる絶縁膜の穴明け加工時にはプローブを数mm退避するためや、プローブ先端部を明瞭に観測するためにフォーカス調整するため等)、数mm程度移動可能な3次元ステージ480X、480Y、480Zを介して搭載することが望ましい。また、光学顕微鏡460には、LSIのパッシベーション膜や層間絶縁膜等の絶縁膜の窓明け用のレーザ光源490が取り付けられ、光学顕微鏡460の光学系を共用して試料面(LSI表面)に直径1~2 $\mu$ mのレーザビームが照射できるようになっている。なお、462はCCDカメラ、464は光学顕微鏡460の対物部を示す。

【0076】図40には具体的な配置・構造の他の例が示される。ここでは、光学顕微鏡460は、LSIテスト・ステーション部400およびプローブ架台420とは全く独立に構成され、床面に直接設置された顕微鏡専用架台472上でX、Y、Zの各方向に粗動可能なステージ482X、482Y、482Zを介して搭載されている。この構成によれば、高さが比較的高いため、振動の影響を受け易い光学顕微鏡460の揺れがAFM走査系に直接影響するといった不都合を解消することができ、AFM画像を安定に求めることができるという利点

がある。

【0077】ただし、光学顕微鏡460による測定配線の概略位置探索を行う場合、①第2の粗動用ステージ(顕微鏡用ステージ482X、482Y、482Z)を第1の粗動用ステージ430X、430Y、430Zと同期して制御すれば、走査型プローブ410を常に観測視野の中に入れて探索することができるし、②第1の粗動用ステージを止めて、第2の粗動用ステージのみ移動させれば、走査型プローブ410はLSIチップ406との相対位置を変えずに、光学顕微鏡460の視野外に出ることもあり得る。どちらの制御モードにしても、2つの粗動用ステージ間の相対位置関係には、図40から見て明らかなように制限がある。従って、不注意による装置の破損を防止するためには、両者の相対座標データで制御し、更にその可動範囲に一定の制限(リミッタ)を設けるのが望ましい。

【0078】図41には具体的な配置・構造のさらに他の例が示される。本実施例では、プローブ架台422上に第1の粗動用ステージ432X、432Y、432ZおよびLSI搭載台400aが搭載され、さらにLSI搭載台400aの上にパフォーマンスボード402、LSIソケット404およびLSIチップ406が順に搭載されている。また、プローブ架台422には、モータ435によって回転駆動される回転ステージ440が係合して設けられている。その他の構成については、図40の実施例と同様である。なお、LSI搭載台400aにはLSI駆動信号の入力のためのコネクタ401が設けられており、該LSI駆動信号は、コネクタ401からパフォーマンスボード402およびLSIソケット404を介してLSIチップ406に供給される。

【0079】また、光学顕微鏡460は、床面に直接設置された顕微鏡専用架台472上で第2の粗動用ステージ(顕微鏡用ステージ482X、482Y、482Z)を介して搭載されている。なお、495は除振機構を示す。本実施例の構成において、光学顕微鏡460による測定配線の概略位置探索を行う場合、①第1の粗動用ステージ432X、432Y、432Zを用いてLSIチップ406を移動することにより実施できるし、②第2の粗動用ステージ482X、482Y、482Zにより、光学顕微鏡460を移動することによっても実現できる。ただし、②の方法では移動範囲に制限があり、不注意による装置の破損を防止するためには、微動用ステージ上の搭載物への衝突が起こらない範囲を予め求めておき、第2の粗動用ステージの座標値で一定の制限(リミッタ)を設けるのがよい。

【0080】いずれの方法においても、光学顕微鏡460の視野内に測定配線を入れることができれば、その後、走査型プローブ410と第1の粗動用ステージ間の相対座標は10数 $\mu$ m精度以内で既知であるため、これは、同じ量だけ第1の粗動用ステージでLSIチップ4

06を移動させることにより、容易にAFM視野内(約100 $\mu$ m平方)に目的とする配線を入れることができる。

【0081】なお、本実施例では、光学顕微鏡460を第2の粗動用ステージ(顕微鏡用ステージ482X、482Y、482Z)に搭載したが、第2の粗動用ステージが有れば、プローブ410自体の観測と試料LSIの観測などの自由度は増すが、必ずしも第2の粗動用ステージは必要としない。図42には微動ステージ(図39～図41の微動用XYステージ450X、450Y)上の搭載物の構成が示される。ここでは、光ビームによる電圧測定手段として、電気光学効果を利用した場合について示す。

【0082】電圧測定部418内で発生されたレーザ光は、プローブ支持部452上をほぼ水平に通過し、電圧センサ部416の電気光学結晶上に配置されたプリズム等の反射手段により方向を変えられ、電気光学結晶に入射する。電気光学結晶下面に付けられた反射膜で反射し、再び同じ経路をたどり、電圧測定部418に戻り、その後2つの偏光成分に分離され、電圧情報が抽出される。一方、カンチレバー変位測定用のレーザ光は、微動ステージ側方の枠部に設けられたレーザ光源412から発生され、照射角調整用のミラーを介して走査型プローブ410のカンチレバーに照射される。カンチレバーからの反射光は、反対側の枠部に設けられた検出角調整用のミラーを含む光学系を経て、位置センサ414で検出される。

【0083】また、微動用XYステージの4つの角の部分には、2方向からピエゾ・アクチュエータ444X、444Yによる押し付け力により該ステージが2次元方向に微動可能となるように、6個の板バネA～Fが設けられている。図43には板バネの作用に基づく微動用XYステージの動作形態が示される。図中、(a)はY方向のピエゾ・アクチュエータ444Yのみを動作させた場合のステージの形態、(b)は2方向のピエゾ・アクチュエータ444X、444Yを共に動作させた場合のステージの形態を示している。

【0084】図44はパッケージ化されたLSIチップのプロービングのために回転ステージが必要な理由を示す図である。図中、404はLSIソケット、406はLSIチップ、406aはLSIパッケージ、410は走査型プローブを示す。同図の(a)に示すようなプロービング形態では、測定不可能な領域Rが存在しているが、同図(b)に示すように、回転ステージを180°回転させてプローブ410の方向を変えることにより、LSIチップ406の全面を観測することができ、ひいてはプロービングが可能となる。

【0085】本実施例では、光学顕微鏡の視野内に常にプローブが入っている場合について説明したが、例えば図45に示すように、光学顕微鏡の対物部(対物レン

ズ)464によっては、AFMプローブのための作動距離が十分確保できないものもある。その場合、同図に示すように光学顕微鏡とプローブ410を一定の間隔(10～50mm程度)だけ離し、選択的に両方の顕微鏡画像の観測を行うようにしてもよい。

【0086】以上説明したように、図39～図41に示す各実施例の構成によれば、LSIテスト等の駆動装置上に搭載されたLSIの微細配線の電圧測定を、高い時間分解能および空間分解能で且つ高速に行うことが可能になり、将来の超LSIの内部の動作診断および解析が容易になる。なお、上述した各実施例では、レーザ光による電圧測定手段として電気光学効果を利用した場合について説明したが、電圧測定手段の形態はこれに限定されない。

【0087】次に、装置規模の縮小化に寄与する低プロファイルのためのレーザ光学系の配置・構造について、図42および図46～図49を参照しながら説明する。前述した光ビームを用いる検査装置では、一般に、カンチレバーや電圧センサ部の上面からレーザ光を入射し、また反射光の光路も上面に設けられているためにレーザ光学系の構成が比較的大規模になるといった不利がある。すなわち、LSIの内部診断、解析を行う場合、10～20mm平方という大きなチップ内から、目的とする配線(測定配線)を見つけ出す必要がある。これを短時間でできることは、この種の解析装置では重要な要素となっている。このためには、チップ全体を広い範囲(低倍率)から比較的狭い範囲(中倍率)で観測できる光学顕微鏡が、微細な探針によるAFM画像(高倍率)と併用できることが不可欠となる。ところが一般的な検査装置では、光学顕微鏡を上方に設けようとしても、この場所にカンチレバー変位測定用レーザ光や電圧測定用レーザ光などの光路があるため、互いの干渉なしに実現することは極めて困難である。

【0088】そこで本実施例では、変位測定用レーザ光と電圧測定用レーザ光の光路を出来る限り狭い高さ範囲に収まるような構造とすることにより、低プロファイルのレーザ光学系を実現している。具体的には、ほぼ水平に近いレーザ光を用いることを原則にし、レーザ光照射対象物のごく近傍にレーザ光反射手段を設け、所定の角度で対象物(カンチレバー反射面や電圧センサ面)に入射できるようにした。上記の構成とすることにより、レーザ光路を数10mm以内の高さ範囲に収めることができ、光学顕微鏡の設置スペースを確保することが出来る。

【0089】以下、図面を参照して具体的に説明する。図42を再び参照すると、カンチレバー変位測定用のレーザ光は、通常のAFM装置と異なり、カンチレバーの長手方向と直交する方向から、ほぼ水平に近い形態で照射され、反射光は反対側の方向で検出されるようになっている(なお、通常の装置では、レーザ光はカンチレバ

一面にほぼ垂直に入射するように構成されている)。また、電圧測定用のレーザ光は、プローブ支持部452の根元からほぼ水平に近い形態で、電圧センサ部416の電気光学結晶上に設けられた反射手段(プリズム)により、電気光学結晶にほぼ垂直に入射し、結晶の裏面の反射面による反射光がほぼ同じ光路をたどるようになっている。変位測定用レーザ光の反射光は、位置センサ414でレーザ光スポット位置が計測され、該計測値からカンチレバー変位量が算出される。また、電圧測定用レーザ光の反射光は、電圧測定部418内に設けられた偏光成分解析部により、P偏光、S偏光の各成分の強度として計測され、電圧測定値に変換される。

【0090】図46には図42のP-P'線およびQ-Q'線に沿った断面構成が概略的に示される。これらの図から、走査型プローブ410の上方に光学顕微鏡の対物部を配置するだけのスペースを十分に確保できることが分かる。図47には図42における2つのレーザ光の光路が詳細に示される。ここで、変位測定用レーザ光の照射光調整ミラー413aにより、該レーザ光をカンチレバー上で反射するようにすれば、カンチレバーのわずかな変位(撓み)により、反射光の方向が特にY方向へ大きく変わる。これが、2枚の反射ミラー413bおよび413cにより、プローブ支持部452の根元に設置されたレーザ光位置センサ414により上下の変位として観測されるようになっている。

【0091】また、調整用ミラー413aにより、変位測定用レーザ光をカンチレバーより下方を通過するようにすると(試料面位置検出モード)、試料面とプローブ部の相対高さに応じて、異なる場所で散乱される。従って、試料面位置検出モード時のレーザ通過位置を予め決めておけば、試料上の散乱点の位置を光学顕微鏡で観測し、散乱点が所定の位置になるように高さ調整を行うようにすれば、簡単にプローブ高さ調整を行うことができる。なお、図47において、410はカンチレバー、基板および微細探針から成る走査型プローブ、416aは電気光学結晶、416bは該結晶上に設けられた反射手段(プリズム)を示す。

【0092】図48には低プロファイルのレーザ光学系を実現するレーザ光の光路の他の例が示される。この場合、電圧測定用レーザ光は上記実施例と同様である。変位測定用レーザ光は、プローブ支持部452の根元に設けられたレーザ光源(図示せず)からプローブ支持部452とほぼ平行な光路をたどり、ミラー415で反射された後、カンチレバーの反射面で反射され、その後、プローブ410aの基板の端面で反射された後、ミラー415で再び反射され、プローブ支持部452の根元に設置された位置センサ(図示せず)で計測される。本実施例でも図47の場合と同様に、カンチレバー反射面に対するレーザ光の入射角は、70°~80°(法線に対する入射角)と、通常のAFMに比べて大きいことが特徴で

ある。

【0093】図49には低プロファイルのレーザ光学系を実現するレーザ光の光路の更に他の例が示される。この場合、電圧測定用レーザ光とカンチレバー変位測定用レーザ光は共に、プローブ支持部452とほぼ平行な光路をたどり、プローブ部410に設けられた2つの反射手段(プリズム416c、416d)により、それぞれ電気光学結晶416aおよびカンチレバー部に垂直に入射し、反射光はそれぞれの光路を逆にたどるようになっている。

【0094】電気光学効果を利用して電圧測定を行う場合、検出信号(例えば図2において受光器24a、24bの出力)と被測定電圧の対応関係を予め知っておく必要がある。ところが、微細探針により配線電圧を電気光学結晶まで導く場合、対応関係を求めるには、既知の電圧が印加されている配線に微細探針を接触させて信号検出を行わなければならない。また、例えば試料配線のインピーダンスを得るためには、電圧と電流の両方を測定できなければならないが、前述した各装置では電圧測定しか行えないという不利がある。さらに、試料形状や試料電圧を測定するために、探針を試料近傍まで接近させる際、素早く移動させると、探針と試料が衝突するおそれがある。

【0095】このような不都合を解消するために、本実施例では、カンチレバーの基板保持部に電極を設け、保持部内部あるいはカンチレバー基板内部にスイッチを設け、該スイッチによりプローブ電位を外部から制御可能としている。図50にその構成例が示される。同図において、500は走査型プローブ、502は微細探針、504は導電性のカンチレバー、506は該カンチレバーを支持する基板、508は電気光学結晶、510はEOサンプリング用レーザ光を透過するための透明電極、512はカンチレバー504を介して探針502に接続されるレーザ光反射用の電極、514はスイッチ用電極、516はホルダ接続用電極、518は電極514に印加される制御信号に基づいて探針側電極512とホルダ接続用電極516の接続切り換えを行うスイッチを示す。また、520はプローブ500を保持するためのホルダ、522は外部の可変電源(パルスジェネレータ等)530からの電圧信号をホルダ接続用電極516に接続するための電極、524はスイッチ制御信号をスイッチ用電極514に接続するための電極を示す。この構成によれば、微細探針502からカンチレバー504、電極512、スイッチ518、プローブホルダ520等を介して外部に引き出された配線に可変電源530が接続され得るので、検出信号-被測定電圧の対応関係を求めることができる。

【0096】なお、結晶508の探針側電極512と反対側の透明電極510も何らかの電位にしておかなければならないため、図には示していないが該透明電極に接

続された電極を追加してもよい。また、図示の例ではスイッチ518を基板506内に内蔵したが、ホルダ内部またはホルダ外部に設けても構わない。ただし、特に高速信号を測定する時には、探針を配線に接触させた時の容量を出来るだけ小さくする必要があるため、図の例が最も好ましい。また、基板内部にスイッチを内蔵させる

$$V = a + b \times S \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $a$ 、 $b$ は定数である。この式中の定数 $a$ 、 $b$ を予め知っておくことにより、探針を配線に接触させた時に得られる検出信号から直ちに配線電圧を知ることができる。(1)式の定数を求めるには、探針電極に既知の電圧 $V_L$ を印加して電気光学効果により電圧測定を行った時の検出信号 $S_L$ と、電圧 $V_H$ を印加した時の検出信号 $S_H$ をそれぞれ(1)式に代入して計算すればよい。

【0098】また、印加する電圧点数は2点に限らず、更に増やすことにより、得られる定数の精度を向上させることができる。この時、探針電極に直流電圧を印加する方法の他に、パルス信号(矩形波)を印加して測定位相を切り換えることによって2組の電圧と検出信号を得る方法もある。パルス信号を印加する場合、電圧制御速度よりも位相制御速度の方が高速なため、処理を高速に行えるという利点がある。

【0099】次に、配線部の回路特性測定方法について図52を参照しながら説明する。探針電極にパルス発生源530から電圧信号を印加して、電気光学効果による電圧測定を行うことにより、種々の回路特性を知ることができる。例えば、探針と配線9が接触している時とない時の電圧測定値の変化(図52(b)参照)から、試料配線9の探針接触点もしくはその点に接続されている素子の入力インピーダンスや周波数特性等を知ることができる。

【0100】また当然にして、LSIテスト等により被検LSIの入出力信号の動作試験を行う際に、探針電極に電気信号を供給する単なる給電プローブとして使用することもできる。次に、探針高さの高速制御方法について図53を参照しながら説明する。探針電極(プローブ500)に容量測定手段540を接続し、探針高さ制御手段542(具体的には前述したZ方向の移動ステージ)を用いて探針が配線9に接近する際の容量変化を検出することにより、探針の概略高さを知ることができる。容量測定手段540としては、例えば、所定の周波数の信号を印加した時に特定の容量で共振する現象を利用できる。この方法は、高精度の高さ検出は望めないが、比較的広範囲に適用できるという利点がある。容量(つまり探針高さ)を監視しながら探針を配線に接近させ、或る容量の高さで接近を停止させるストップスイッチの役割をさせることにより、探針高さの粗制御を高速に行うことができる。

【0101】次に、試料を損傷させないで表面形状を観測するのに好適な実施例について、図54～図58を参

場合、集積化してもよい。

【0097】以下、検出信号と電圧の対応関係の取得方法について図51を参照しながら説明する。検出信号 $S$ と電圧 $V$ の関係は、図51(a)から、以下のような1次式で示される。

照しながら説明する。微細探針とLSI配線を電氣的に接触させてLSIの信号を測定しようとする場合、十分な電氣的接触を得るためにカンチレバーを硬くする必要がある。ところがカンチレバーが硬い場合には、従来の方法で表面形状を観測すると、探針を水平方向に移動させる際に試料表面が探針によって損傷するおそれがある。特にLSI配線の測定箇所を決定するために数十 $\mu$ m平方程度の広範囲を観測する場合、探針の水平移動速度が速いため、損傷の危険性が高くなる。また、LSIの所定箇所の電圧を測定するためには、表面形状の観測結果から測定位置を決定してその位置まで探針を水平移動させた後、該探針を固定する機能を合わせ持つ必要があるため、離散的な探針移動による形状観測が好ましい。

【0102】このような課題を解決するため、本実施例では以下の手段を提供している。

(a) 図54に示すように、走査型プローブ550の探針552を試料560の上方から近接させていき(②と⑤の走査に相当)、探針552が試料560と接触した点をもって試料表面形状を知る。ただし、接触点については次のように定義する(図55参照)。

【0103】探針552を試料560に近づけていくと、接触直前に探針が試料に引き寄せられ、更に或る限界まで近づくと、斥力によりそれ以上は近づけないため、カンチレバー554が撓み始める。すなわち、カンチレバーが十分に軟らかい場合には、厳密には探針は試料に接触しない。しかしながら、カンチレバーが硬い場合には、撓みによって生じる力が斥力に打ち勝ってしまうため、探針と試料は接触し、試料を損傷させてしまう。このため、探針が引力により試料に引かれ始めた点 $Z_0$ を接触点とし、この点で近接を停止することにより、試料の損傷を防ぐことができる。

【0104】また、カンチレバーの硬度が更に大きく、引力による逆方向への撓みを検出できない場合には、図55でプラス方向に撓み始める点 $Z_1$ をもって接触点と定義する。

(b) プローブ550すなわち探針552を水平移動する際に(図54において①、④、⑦の走査に相当)、カンチレバー554の撓み量が一定となるように探針高さをフィードバック制御する。この時、像取得時間を短縮するためには、探針の水平移動時間を出来るだけ短くする必要がある。しかしこれに合わせてフィードバック応答速度を上げると、電圧測定時のように探針の水平位置



を固定している時には、高さが不安定に振動するおそれがある。従って、フィードバック制御は探針の水平移動時にのみ有効となるようにする。

【0105】以下、図面を用いて具体的に説明する。図56には上記(a)の手段に対応したプローブ制御方法を実現する構成例が示される。図中、570で示される接触検出部が従来装置には無かった特徴的な部分である。以下に各部の動作を説明する。

【0106】レーザ光源572から発せられた光はカンチレバー554で反射し、角度検出用受光器574に入射する。角度検出用受光器574は、カンチレバー554の撓みに応じて変化する反射角に比例した信号を出力する。試料表面形状を観測する時は、水平移動機構(図示せず)により探針552または試料560を観測点まで移動し、探針上下移動機構576により探針552の下降を開始する。探針下降時には、受光器574からの角度信号(=撓み量信号)を接触検出部570で監視し、探針552が試料560に接触した時に直ちに探針高さ制御部578に対し「接触点到達」を指示する接触信号を送出する。探針高さ制御部578は接触信号にตอบสนองし、探針上下移動機構576に探針下降停止を指示し、この時の高さを出力した後、探針552を一定量または定位まで上昇を指示する。以上の動作を繰り返して表面形状を測定する。

【0107】接触検出部570の動作を更に詳細に説明する。探針552が試料560から十分離れている時、カンチレバー554の撓み量は0であり、これを基準として登録(設定)しておく。受光器574からの出力はノイズを含んでいるため、撓み量0の時のノイズ量をしきい値として、受光器出力(撓み量信号)が設定された基準量からしきい値以上マイナスまたはプラスに変化した時に接触信号を出力する。よって、高さ分解能は受光器574の出力信号のノイズで決定されるため、高さ分解能を向上させたい場合には、受光器出力信号を加算平均するか、高さ測定を複数回行えばよい。

【0108】図57には上記(b)の手段に対応したプローブ制御方法を実現する構成例が示される。ここでは、1方向(X方向)の移動のみの場合を図示してあるが、2次元の場合も同様である。以下に各部の動作を説明する。水平位置Xは、計算機CPU(図示せず)や画像走査用カウンタ580によってXレジスタ582に設定され、このデータはD/Aコンバータ584でアナログ信号に変換された後、ローパスフィルタ(LPF)586を経由してX位置制動部588に送られる。X位置制動部588では、指定された電圧によりXステージ(図示せず)を移動する。この時、X位置指定電圧はLPF586を経由するため、図58の②に示すように緩慢に変化する。

【0109】一方、カンチレバー変位検出部590ではカンチレバーの撓み量を観測する。撓み量測定値と変位

指定部592に予め設定された値は差動アンプ594で減算処理され、スイッチ596を通してZ位置制動部598に送られる。これによって、試料と探針の距離が一定に保たれるように制御がなされる。また、LPF586の入出力端の電圧は比較器600に入力され、図58の③に示すように電圧の変化開始(t1の時点)および完了(t2の時点)を検出する。この検出信号により、Z位置(つまり高さ)制動部598へのフィードバックがオン/オフされる。すなわち、X方向に移動中の間のみ、高さのフィードバック制御が有効となる。ここで、フィードバックの応答速度に比べて、X方向の移動が十分緩慢である必要がある。なお、602はZ位置制動部598の出力信号をデジタル信号に変換するA/Dコンバータ、604はデジタル化された画像信号を表示する像表示部を示す。

【0110】また、図57の構成例ではLPF586を用いたが、代わりにランプ波形発生回路を用いた構成や、前段のD/Aコンバータ584の前にデジタルの加算/減算器を用いた構成でもよい。要は、図58に示すように指定電圧変化が高さフィードバックの応答速度よりも十分緩慢になり、その変化開始および完了が検出できればよい。

【0111】次に、電圧測定の際に微細探針と配線との電気的接触を保証するのに好適な実施例について、図59～図64を参照しながら説明する。AFMの機能を利用して電圧測定を行う場合、まず配線を検出し、電圧測定位置に探針を移動しなければならない。次に、探針を配線に対して、電気的接触が取れるのに十分な力で押し付ける必要がある。配線は一般に、周辺絶縁物よりも突起した形状をなしていることが多いが、場合によっては、配線が絶縁物に埋まっており配線と周辺部での高低差が無い場合や、全体を絶縁膜が覆っており配線近傍の絶縁物を電子ビームやレーザビームで除去しなければ電圧測定を行えない(この場合にもやはり高低差が無い)場合も考慮しなければならない。また、探針を配線に対し電気的に接続する場合にも、配線表面を酸化膜で覆っている場合などを考慮しなければならない。

【0112】このような状況に鑑み、本実施例では以下の手段を提供している。

(1) 配線の位置を探索する手段

① AFMの機能により得られる配線表面の1次元または2次元の走査画像から配線位置を求める(図59参照)。

② 試料の材質により硬度が異なる場合、探針を試料に押し付けた時に探針が試料表面に食い込む量が異なる(図60(a)参照)ことを利用し、探針高さ変化に対するカンチレバー撓み量が小さければ軟らかく、大きければ硬い材質と判断する。この操作を探針水平位置を変えながら行うことにより得られる硬さ画像から配線位置を求める(図60(b)、(c)参照)。

【0113】③ 配線に何らかの信号が印加されている場合、電圧測定を行いながら探針を水平走査した時の測定結果から配線位置を求める（図61参照）。

④ 探針側電極（例えば、図2における電極4）が電気的に浮いている場合には、反対側の透明電極（図2の電極3）への印加信号にかかわらず、電気光学結晶内部の電界は殆ど0である。よって、探針が配線に接触して探針側電極の電位が決定されると、配線電圧と透明電極間の印加電圧の差が結晶内部に現れることを利用する。つまり、透明電極にパルス信号を印加して（例えば、図2において可変電源29からパルス信号を供給する）電圧測定を行いながら探針を水平走査した時の電圧振幅測定結果から配線位置を求める。

（2）配線と探針の電気的接続を保証する手段

① AFMの機能により得られる配線高さをもとに、一定量押し付けることにより、電気的接続をとる（図62参照）。

【0114】この時の一定量押し付けとは、（a）探針高さを一定量試料に近接させる、あるいは、（b）カンチレバー撓み量が一定量増加するように探針を試料に近接させる、のいずれかである。

② 上述した（1）の③と同様に、電圧測定を行いながら微小探針を微量ずつ試料に近接させていき、得られる測定結果から電気的接続を判断する（図63参照）。

【0115】③ 上述した（1）の④と同様に、透明電極にパルス信号を印加して電圧測定を行いながら探針を微量ずつ試料に近接させていき、電圧振幅測定結果から電気的接続を判断する。

図64のフローチャートは、例えば図2の装置構成により透明電極に試料と非同期のパルス信号を印加して電圧測定（結晶内電界測定）を行うことにより、配線位置探索と電気的接続を保証する高さ決定を行い、電圧測定を行うまでの測定手順を示している。

【0116】まず、ステップ650では透明電極にパルス信号を印加する。次に、水平方向の走査を行いながら各水平位置で電気的接触を確かめる（ステップ651、652、658）。図では、X方向のみを記述したが、2次元走査を行いたい場合には、X、Yの2重ループになるだけで基本的な手順は同様である。Xの走査開始位置Xaから走査終了位置Xbまで刻み $\Delta X$ 毎にXを動かしながら、電気的な高さ探索を行う（ステップ653～656）。探索は、探針高さを刻み $\Delta Z$ 毎に少しずつ下げながら（ステップ656）、電圧振幅を測定し（ステップ654）、カンチレバーの撓みが限界に達するか、あるいは、測定振幅が0でなく変化しなくなったら（つまり十分電気的に接触したら）終了する（ステップ655）。

【0117】水平方向の探索が完了すると、水平位置に対する測定振幅の1次元プロファイルが得られるため、これを基に、例えば重心検出等により、測定を行う水平

位置を決定する（ステップ659）。決定された水平位置において高さ検出を行い、十分電気的に接触するように探針を配線に押し付けたら（ステップ660）、透明電極へのパルス印加を停止し（ステップ661）、電圧測定を行う（ステップ662）。

【0118】なお、これらの操作中で、撓み量の限界まで押し付けても電気的な接触が得られない場合には、試料上のその点は絶縁物であるか、断線し電気的に浮いている配線であるものと判断できる。電気光学効果を利用して電圧測定を行う方式では、フォトダイオード等の受光器で検出した2つの偏光分離光検出信号の差は電気光学結晶内の電界強度（つまり測定点の電圧）に比例しているため、この検出信号（例えば図2において受光器24a、24bの出力）の差信号を求めることで結晶印加電圧を測定することができる。しかしこの場合、差信号と電圧の比例係数が分からなければ、検出信号から直接電圧値を知ることができないという不都合がある。

【0119】この不都合に対処するため、本実施例では、検出信号の差信号と電圧の比例係数を予め決定するようにしている。図65にはその比例係数を決定し、その比例係数を用いて電圧測定を行うための構成が示される。図示の構成は、例えば図2において配線検知/接触制御部17、システム制御部18および電圧測定制御部26の中に含まれる部分である。図中、670は検出信号すなわち差信号S(t)を電圧V(t)に変換するための電圧値変換部、672は電極膜電圧または既知電圧のデータと検出信号に基づいて変換係数（つまり比例係数 $C_0$ 、 $C_1$ ）を決定する変換係数決定部を示す。この変換係数決定部672により比例係数を決定する方法としては、以下の3つの手法が考えられる。

（1）零点法を利用する方法（図66参照）

まず、探針を動作配線位置に移動し（ステップ70

1）、接触させる（ステップ702）。次に、測定位相tを走査しながら零点法により電圧測定を行い、電圧波形を求める（ステップ703～710）。零点法による電圧測定とは、検出信号の差信号が0となるように、具体的にはステップ705～710に示されるような2分探索法を用いて、透明電極膜電圧を制御し、該透明電極膜の印加電圧を配線電圧とする手法である。

【0120】次に、透明電極膜の電圧を0Vに設定する（ステップ711）。さらに、測定位相tを走査しながら差信号を測定し、差信号波形を求める（ステップ712～715）。次いで、電圧波形と差信号波形から、対応関係を定める比例係数 $C_0$ 、 $C_1$ を決定する（ステップ716）。以降、測定を行いたい配線に探針を移動・接触して差信号を測定し、この差信号と上記決定された比例係数を用いて電圧値変換部670で直ちに電圧値に変換し、出力する。

（2）電源ライン、GNDラインを利用する方法（図67参照）

まず、探針をGNDラインに移動し（ステップ731）、接触させて（ステップ732）、差信号を測定する（ステップ733）。次に、探針を電源ラインに移動し（ステップ734）、接触させて（ステップ735）、差信号を測定する（ステップ736）。次いで、電源電圧値とGND電圧値に対応する差信号検出結果（ $S_1, S_2$ ）から、対応関係を決める比例係数 $C_0, C_1$ を決定する（ステップ737）。

【0121】以降、（1）の方法と同様にして、測定を行いたい配線に探針を移動・接触して差信号を測定し、この差信号と上記決定された比例係数を用いて電圧値に変換し、出力する。

（3）入力パッドを利用する方法（図68参照）

まず、サンプリングオシロスコープやLSIテスタ等を用いて、被測定デバイスの信号入力ピンの電圧測定を行い、電圧波形 $V(t)$ を求める（ステップ751）。次に、上記電圧測定を行ったピンに直接接続されたパッド上に探針を移動し（ステップ752）、接触させる（ステップ753）。次いで、測定位相を走査しながら差信号を測定し、差信号波形 $S(t)$ を求める（ステップ754）。次に、電圧波形と差信号波形から、対応関係を決める比例係数 $C_0, C_1$ を決定する（ステップ755）。

【0122】以降、（1）、（2）の方法と同様にして、測定を行いたい配線に探針を移動・接触して差信号を測定し、この差信号と上記決定された比例係数を用いて電圧値に変換する。次に、パッケージ化されたLSIのチップ表面を電圧測定の際に支障なく観察するのに好適な実施例について、図69～図73を参照しながら説明する。

【0123】図1、図5に示したようなプローブ基板上に電気光学結晶が設置されるタイプのプローブをホルダで保持して使用すると、例えば図69に示されるように、パッケージ（LSIパッケージ800）化されたLSIチップ802の表面を観察する場合に不都合が生じる。すなわち、チップ802はパッケージ800の表面よりも奥まった位置（例えば1mm）に配置されているので、パッケージの奥まっている部分の周縁部分にホルダ812の一部（場合によってはプローブ810の一部）が当たってしまい、そのためにLSIチップ802の表面にプローブ810の探針の先端を接触させることができず、観察領域が限定されるといった不都合がある。図示の例では、Rで示される部分が測定不可能な領域となる。これに対処するためには、例えば試料表面に対するプローブの傾きを大きくすることが考えられるが、この場合、プローブの傾斜角度に応じて探針も試料表面に対して傾くため、ライン・プロファイルの測定時に、試料表面の配線等の凸部の壁面に探針壁面が接触してしまい、そのために観察画像が歪み、空間分解能が低下するといった別の不都合が生じる。

【0124】このような不都合を解消するため、本実施例では以下の2つの形態を提供している。

（a）第1の形態（図70～図72参照）

図70に例示する構成では、先端に微細探針を備えたカンチレバー820を支持する第1基板822を電気光学結晶にし、更にこの結晶上に第2基板830を形成し、該第2基板を保持することによってプローブ全体を保持するようにしたことが特徴である。探針を備えたカンチレバー820は第1基板822の下部に接着されており、この電気光学結晶の下部には電圧測定用のレーザ光 $P_3$ を反射させるために金（Au）膜824が接着され、上部には該レーザ光を透過させるために透明導電膜826が接着されている。第2基板830は、保持を容易にするために上部へ長く延びた縦長の構造、例えば1mm角の断面で5mm程度の長さを有しており、また、電圧測定用のレーザ光を透過させるために例えばガラス等で形成されている。さらに、電気光学結晶（第1基板822）上部の透明導電膜826をグランド（GND）に接地できるように、配線パターン828が第2基板830の側面に沿って形成されている。本実施例では、電圧測定用のレーザ光 $P_3$ とカンチレバー変位測定用のレーザ光 $P_1$ は、プローブに対して垂直方向から照射される方式である。

【0125】このように本実施例の構成によれば、上部へ長く延びた縦長のプローブ構造であるため、保持の際に位置決めなどが容易になると共に、パッケージ化されたLSIチップ表面のほぼ全領域を観察することが可能となる。図71は上記実施例の一変形例を示すもので、電圧測定用レーザ光 $P_3$ をプローブに対して水平方向から照射できるように、第2基板830a上部に光路を変更するための手段、例えばプリズム832やミラー等を配置した例である。この構成例は、前述した低プロファイルのレーザ光学系の実現に寄与する。なお、第2基板830aを図示のようにX、Y、Zの各方向に長く延びた構造とすることにより、本プローブをプローブホルダ部834によって位置精度良く保持することが容易となる。

【0126】図72は他の変形例を示すもので、カンチレバー変位計測用レーザ光 $P_1$ をカンチレバー820の長手方向（図71においてY方向）とほぼ直交する方向（図71においてX方向）から該カンチレバーに照射した場合の例である。

（b）第2の形態（図73参照）

図73に例示する構成では、試料840の表面に対して凸状形態となるようにカンチレバー850の一部分を折り曲げ、該カンチレバーの一端は、絶縁性のプローブホルダ852で保持されるプローブ基板854に固定し、カンチレバー850の他端に形成された探針856は試料840の表面にほぼ垂直に当接するように、カンチレバー850、プローブ基板854の底面およびプローブ

ホルダ 852 の底面が試料 840 の表面に対して大きく傾斜していることが特徴である。具体的には、折れ曲がったカンチレバー 850 の凸方向に探針 856 を取り付け、側断面が三角形のプロープ基板 854 を用いている。プロープは全体として、底面を大きく傾斜して配置されたプロープホルダ 852 に、探針 856 が試料 840 の表面に垂直になるように取り付けられている。なお、858 は電気光学結晶を示す。

【0127】このように本実施例の構成によれば、探針 856 が試料 840 の表面に垂直であるので、空間分解能の劣化が無く、また、試料 840 の表面に対してプロープ装置全体の底面角度を大きくしているので、LSI チップの端とパッケージの奥まった部分の壁が非常に近接しているという特殊な場合を除き、LSI チップ表面のほぼ全領域を観察することができる。これは、LSI 検査の精度と効率の向上に寄与するものである。

【0128】図 73 の実施例では、カンチレバー変位計測用のレーザ光をカンチレバーの傾いた部分に照射しているが、カンチレバー水平部に照射することも可能であり、レーザ光照射方法がこの例に限定されないことはもちろんである。また、電気光学結晶の取り付け位置もこの例に限らないし、レーザ光による電圧測定方式もこの例に限らない。

【0129】なお、本実施例のプロープ製作方法としては、カンチレバーを機械的に折り曲げる方法でもよいが、より好適な製作方法として、例えば以下の方法が考えられる。まず、(100) Si 基板に、異方性エッチングによりピラミッド状の穴を形成する。穴の壁面は (111) 面であり、 $55^\circ$  の傾きを持つ。次いで、ピラミッド状の穴の 1 側面を切り出し、金属（例えば Au）膜を形成する。これはカンチレバーを構成する。次いで、カンチレバーにプロープ基板を接着し、さらにマスクを介した金属蒸着により導電性の微細探針を形成する。次いで、プロープホルダに、探針の電圧を電気光学結晶に印加するための金属膜を形成し、この後、Si をエッチングしてカンチレバーを形成する。

【0130】あるいは、以下の方法を用いて製作することも可能である。Si 基板上に金属（例えば Cr）膜を形成し、パターンニングして導電性の微細探針を形成する。次いで、カンチレバーにプロープ基板を接着し、さらに電気光学結晶を取り付ける面に金属膜を形成した後、Si をエッチングし、カンチレバーを形成する。次いで、カンチレバーの探針と反対側の面に、カンチレバーの材料よりも応力の大きい金属（例えば Au）膜を付着させ、これによってカンチレバーを凸状態に反らせる。なお、反りの角度は膜厚等により制御することができる。

【0131】次に、試料観察と配線探索を容易に行うのに好適な実施例について、図 74～図 77 を参照しながら説明する。一般に、LSI の内部診断、解析において

測定時間を短くするためには、測定したい配線を短時間に探し出す必要がある。この場合、LSI チップ表面を観察できる手段（例えば光学顕微鏡）が用いられるが、探索の過程において、プロープに設けられたカンチレバーの部分が影となり、目的とする LSI チップ表面上の領域を探し出すのが困難であるという不都合が生じる。

【0132】この不都合を解消するため、本実施例では以下の 2 つの形態を提供する。

（a）第 1 の形態（図 74、図 75 参照）

図 74 に例示する構成では、LSI チップ表面を観察するための光学顕微鏡 870 を備えると共に、微細な探針 6 と電氣的に接続され、且つ、該探針が受ける極めて小さな力により撓む（変位する）ことができる導電性のカンチレバーの表面に波長フィルタ 5A を形成したことが特徴である。

【0133】図 75 は光の波長に対するカンチレバーの反射率の関係を示したもので、同図に示すように、上記波長フィルタ 5A は、被測定 LSI 表面を観察するための光学顕微鏡 870 の観察光の波長  $\lambda_1$  以下の波長を持つ光に対しては透過させ、変位計測用レーザ光の波長  $\lambda_2$  近傍の波長を持つ光に対しては反射させる特性を有している。従って、波長フィルタ付カンチレバー 5A を通して、顕微鏡 870 で LSI チップ表面を観察できると共に、変位計測用レーザ光  $P_1, P_2$  によりカンチレバー 5A の変位も計測できる。なお、光学顕微鏡 870 の下側に挿入した波長フィルタ 872 は、波長  $\lambda_1$  以下の顕微鏡観察光を生成するための波長フィルタであるが、上述したようにカンチレバー 5A 自身がフィルタの機能を有しているので、この波長フィルタ 872 については必ずしも配置する必要はない。

【0134】（b）第 2 の形態（図 76、図 77 参照）

図 76 に例示する構成では、図 74 の構成と比べて、導電性のカンチレバー 5B を透明にしたことが特徴である。図 77 は、レーザ光の入射角に対するカンチレバーの反射率の関係を示したもので、例えば  $\text{Si}_3\text{N}_4$  でカンチレバー 5B と微細探針 6 を製作し、カンチレバー 5B 部分の厚さを  $1\mu\text{m}$  にし、導電性を持たせるために ITO 電極を 700 オングストローム膜付けした場合の特性を示している。

【0135】従来の AFM のように、カンチレバーの上面（ほぼ垂直方向）から変位計測用のレーザ光を入射させると、図 77 に示すように、レーザ光がカンチレバーによって殆ど反射されず、透過してしまうため、変位を計測することが困難である。そのため、変位計測用レーザ光  $P_1, P_2$  のカンチレバー 5B への入射角を大きく

（例えば  $60^\circ$  程度に）する必要がある。特に S 偏光のみのレーザ光を入射させると、反射率が高いので有効である。なお、カンチレバー 5B の膜の構成方法、材料を変えることによって、例えば  $40^\circ$  の入射角で必要な反射率を得ることも可能である。また、カンチレバー 5B

の長手方向に変位計測用レーザ光の入射角を大きくすると、プローブ基板2や電気光学結晶1が変位計測ビームの妨げとなるため、図示のように、変位計測用レーザ光 $P_1$ 、 $P_2$ はカンチレバー5Bの長手方向とほぼ垂直な方向から入射させる構成とする。この構成により、プローブ上方で光学顕微鏡870に作動距離の小さい対物レンズを設置し易くなる。

【0136】このように本実施例の構成によれば、LSIの内部診断、解析において、カンチレバーを通してLSIチップ表面を光学顕微鏡で観察可能となり、目的とするLSIチップ表面の領域を探し出すことが容易になるので、目的の配線も容易に探し出すことができ、操作性および測定時間が向上する。前述した各実施例のように導電性の微細探針を利用して電気光学結晶に配線電圧を導く形態のLSI検査装置では、電圧測定時に被測定配線へ探針を押し付けて電氣的導通を得るようにしている。そのため、測定を繰り返すと探針の磨耗や変形といった問題が生じる。探針が磨耗すると、機械的走査で得られる顕微鏡画像に誤差が生じるため、一定量以上磨耗した場合には探針を交換することが望ましい。しかしながら、何時どのような状態になったら探針を交換するかという、探針の交換基準が必ずしも明確ではない。

【0137】そこで本実施例では、探針の交換が必要であるか否かを判断する手段を備えることにより、上記の不都合を解消している。この場合、以下の2つの形態が推奨される。

(a) 探針一試料間に作用する原子間力に対する微動機構に加える制御電圧のグラフ（以下、フォース・カーブ〔図78参照〕と称する）を利用する。原子間力は、探針一試料間の距離に敏感に応答し、例えば距離が10nm程度になると引力領域になり、更に探針を近接させて試料表面に接触させると斥力が働く。探針が磨耗すれば、初期状態のフォース・カーブにオフセットが生じる。従って、このオフセット量を検知することで探針の磨耗を判断することができる。

【0138】(b) 探針の磨耗が生じると、フォース・カーブにオフセットが生じるため、AFMで得られる画像にも全体的にオフセットが生じる。従って、この画像全体の平均オフセット量を算出することで探針の磨耗を判断することができる。

以下、上記(a)、(b)の形態に対応した具体例について説明する。図79は、(a)の形態に基づいた動作シーケンスを示している。

【0139】まず、ステップ901で被検LSI（デバイス）をセットした後、次のステップ902で磨耗を判断するためにフォース・カーブを取得する地点を決定する。この地点は、デバイス内の任意の地点で構わないが、探針の先端部分よりも十分大きな領域とし、例えばチップ内のパッド程度の大きさを持つ領域上であることが望ましく、また、実際に電圧を測定する地点とは異なる

場所にする。次のステップ903では、決定した取得地点の座標を保存（記憶）する。この座標に関するデータは、粗動機構のX、Y、Z座標に関するデータと、微動機構に加えられるX、Y、Zの制御電圧のデータとを含む。

【0140】次いで、ステップ904では近傍のAFM画像を取得し、それを座標に対応させて保存しておく。次に、ステップ905でフォース・カーブを取得し、このデータを保存しておく。次のステップ906で被検LSIの一連の電圧測定を行った後、ステップ907で、保存した座標（つまりフォース・カーブ取得地点）までプローブを移動させる。しかしこの時、粗動ステージのバックラッシュや精度に依存して必ずしも元の地点へ復帰しているとは限らない（図80参照）。

【0141】そこで、次のステップ908でAFM画像を取得し、さらにステップ909では、上記保存してあるデータ（AFM画像データ）と比較し、さらに次のステップ910で、この比較に基づいて誤差（すなわち位置ずれ）を算出し、それによって正確に元の地点へ復帰させることができる。元の地点に戻ったところで、再度、フォース・カーブを取得する（ステップ911参照）。最後に、ステップ912で、上記保存してあるフォース・カーブとステップ911で取得したフォース・カーブを比較すると、探針の磨耗量に相当する分だけフォース・カーブがオフセットする（図81参照）。

【0142】オフセット量の測定は、図81に示すように斥力領域にしきい値を設定し、この値の時の制御電圧の差で検出する。なお、オフセット量の測定の際には、微動機構に使用する圧電素子のドリフトによって起こるオフセットと区別できるように、移動量が小さく且つ歪みゲージ等を用いてヒステリシスを無くした圧電素子を用いて、ドリフト量を非常に小さくしておく必要がある。

【0143】また、上記(b)の形態に基づく具体例として、AFM取得画像のオフセット量を測定する方法もある。この場合、動作シーケンスは上記実施例の場合とほぼ同じであるが、フォース・カーブの代わりに取得画像を用いている点が異なっている。保存したデータと使用後のデータは、フォース・カーブを利用した場合と同様、探針の磨耗分だけオフセットする。従って、画像全体の平均オフセット量を算出することにより、磨耗分を決定することができる。

【0144】この磨耗量の測定は、被検LSI（デバイス）を交換するたびに必ず測定し、保存しておく。また、同一デバイスであっても、電圧測定回数が多数である場合には、測定回数に応じて磨耗量の測定を行う。この場合、測定した磨耗量のデータを加算して総磨耗量を算定し、この値が所定の許容磨耗量を越えた時に、探針の寿命がきたこと（つまり探針の交換時期）を指示する信号を発生するようにしてもよい。

【０１４５】このように本実施例の構成によれば、探針の寿命を判定することができ、プローブ交換の必要性の有無を知ることが可能となる。

【０１４６】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、空間分解能と時間分解能を共に高めた電圧測定を実現することができる。また、微細配線への電気的な負荷を増大させることなく、該微細配線への電気的な接触を十分なものにし、安定したプロービングを行うことができる。これは電圧測定の精度向上に大いに寄与する。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明のプローブ装置の一実施例の構成を示す斜視図である。

【図２】図１の装置を含む全体システム構成を示す図である。

【図３】サンプリング光学系の偏光状態の一例を示す図である。

【図４】サンプリング光学系の偏光状態の他の例を示す図である。

【図５】本発明のプローブ装置の他の実施例の構成を示す斜視図である。

【図６】図２の装置による電圧測定のための処理を表すフローチャートである。

【図７】図１のプローブ装置の第１の変形例を示す図である。

【図８】図１のプローブ装置の第２の変形例を示す図である。

【図９】図８のプローブ装置の構成を示す斜視図である。

【図１０】図１のプローブ装置の第３の変形例を示す図である。

【図１１】図１０のプローブ装置の構成を示す斜視図である。

【図１２】本発明のＬＳＩ検査装置の一実施例の構成を示す斜視図である。

【図１３】図１２の装置によるボンディング・ワイヤ近傍の配線へのプロービングの様子を示す図である。

【図１４】図１３に示すプロービングを可能にする一構成例を示す図である。

【図１５】図１３に示すプロービングを可能にする他の構成例を示す図である。

【図１６】架台を含めたＬＳＩ検査装置の全体構成を示す斜視図である。

【図１７】回転による重心移動に伴う除振台の傾斜の様子を示す図である。

【図１８】除振台に対する被検ＬＳＩの相対位置関係を固定化するための第１の構成例を示す図である。

【図１９】除振台に対する被検ＬＳＩの相対位置関係を固定化するための第２の構成例を示す図である。

【図２０】除振台に対する被検ＬＳＩの相対位置関係を

固定化するための第３の構成例を示す図である。

【図２１】除振台に対する被検ＬＳＩの相対位置関係を固定化するための第４の構成例を示す図である。

【図２２】光学顕微鏡とプローブの干渉防止のための一構成例を示す図である。

【図２３】光学顕微鏡とプローブの干渉防止のための他の構成例を示す図である。

【図２４】図１２の実施例におけるプローブ走査系の構成を通常のＡＦＭ走査系と対比させて概略的に示した図である。

【図２５】プローブ走査系の重量を軽減するためのステージの配置例を示す図である。

【図２６】軽量化と小型化に適したＡＦＭステージの実装例を示す斜視図である。

【図２７】図２６のＡＦＭステージの先端部の構造を示す斜視図である。

【図２８】図２６のＡＦＭステージをプローブヘッド用ステージと組み合わせた一構成例を示す斜視図である。

【図２９】図２８のＡ－Ａ'線に沿った概略的な断面図である。

【図３０】小型化に適した探針変位検出手段の構成例を示す図である。

【図３１】軽量化と小型化に適したＡＦＭ光学系の構成例を示す平面図である。

【図３２】プローブの着脱機構の一例を示す図である。

【図３３】プローブの着脱機構の他の例を示す図である。

【図３４】スペアプローブの保持機構を示す図である。

【図３５】電圧測定箇所的位置決めの容易化に適したＬＳＩ検査装置の構成を示すブロック図である。

【図３６】パターンマッチングによるアライメント補正を可能にしたＬＳＩ検査装置の構成を示すブロック図である。

【図３７】図３６の装置によるアライメント補正のための処理を表すフローチャートである。

【図３８】図３６の装置によるプローブ接触圧力決定のための処理を表すフローチャートである。

【図３９】本発明のＬＳＩ検査装置の具体的な配置・構造の一例を一部断面的に示した図である。

【図４０】本発明のＬＳＩ検査装置の具体的な配置・構造の他の例を一部断面的に示した図である。

【図４１】本発明のＬＳＩ検査装置の具体的な配置・構造のさらに他の例を一部断面的に示した図である。

【図４２】微動ステージとその搭載物の構成を概略的に示した斜視図である。

【図４３】図４２の微動ステージの動作を説明するための図である。

【図４４】回転ステージの必要性を説明するための図である。

【図４５】光学顕微鏡とＡＦＭプローブを選択的に使用

する場合の構成図である。

【図 4 6】図 4 2 の P-P' 線および Q-Q' 線に沿った概略的な断面図である。

【図 4 7】図 4 2 におけるレーザ光の光路を詳細に示した図である。

【図 4 8】低プロファイルのレーザ光学系を実現するレーザ光の光路の他の実施例を示す図である。

【図 4 9】低プロファイルのレーザ光学系を実現するレーザ光の光路のさらに他の実施例を示す図である。

【図 5 0】本発明の L S I 検査装置の他の実施例におけるプローブ装置の構成を示す図である。

【図 5 1】図 5 0 の装置による検出信号と電圧の対応関係の取得方法を説明するための図である。

【図 5 2】図 5 0 の装置による回路特性の測定方法を説明するための図である。

【図 5 3】図 5 0 の装置による探針高さの制御方法を説明するための図である。

【図 5 4】試料の損傷防止に適したプローブ制御方法の概念を示す図である。

【図 5 5】探針高さとカンチレバーの撓み量の関係を示す図である。

【図 5 6】図 5 4 のプローブ制御方法を実現する一実施例の構成を示す図である。

【図 5 7】図 5 4 のプローブ制御方法を実現する他の実施例の構成を示す図である。

【図 5 8】図 5 7 の構成における各部の動作タイミング図である。

【図 5 9】配線位置探索を実現する手段の一例を説明するための図である。

【図 6 0】配線位置探索を実現する手段の他の例を説明するための図である。

【図 6 1】配線位置探索を実現する手段のさらに他の例を説明するための図である。

【図 6 2】配線と探針の間の電気的な接続を保証する手段の一例を説明するための図である。

【図 6 3】配線と探針の間の電気的な接続を保証する手段の他の例を説明するための図である。

【図 6 4】配線位置探索と電気的接続の保証に基づいた電圧測定処理を表すフローチャートである。

【図 6 5】電気光学効果を利用した電圧測定の高速化に適した L S I 検査装置の要部の構成を示すブロック図である。

【図 6 6】図 6 5 の変換係数決定部が行う処理の一例を表すフローチャートである。

【図 6 7】図 6 5 の変換係数決定部が行う処理の他の例を表すフローチャートである。

【図 6 8】図 6 5 の変換係数決定部が行う処理のさらに他の例を表すフローチャートである。

【図 6 9】従来形のプローブ装置の問題点を説明するための図である。

【図 7 0】図 6 9 の問題点を解決したプローブ装置の一構成例を示す図である。

【図 7 1】図 7 0 のプローブ装置の一変形例を示す図である。

【図 7 2】図 7 0 のプローブ装置の他の変形例を示す図である。

【図 7 3】図 6 9 の問題点を解決したプローブ装置の他の構成例を示す図である。

【図 7 4】試料観察および配線探索の容易化に適したプローブ装置の一構成例を示す図である。

【図 7 5】図 7 4 のカンチレバーの反射率と波長の関係を示す図である。

【図 7 6】試料観察および配線探索の容易化に適したプローブ装置の他の構成例を示す図である。

【図 7 7】図 7 6 のカンチレバーの反射率とレーザ光入射角の関係を示す図である。

【図 7 8】フォース・カーブの説明図である。

【図 7 9】探針の交換時期を決定するのに好適な L S I 検査装置の動作フローチャートである。

【図 8 0】元の地点へプローブを移動させた時の位置ずれの様子を示す図である。

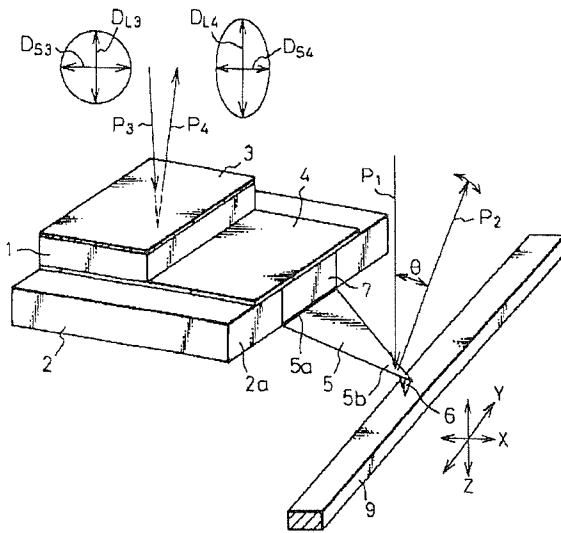
【図 8 1】探針の磨耗量を決定するためのフォース・カーブの説明図である。

【符号の説明】

- 1…電気光学結晶（所定の結晶体）
- 2…プローブ基板（移動体）
- 3…透明電極
- 4…電極（接続手段）
- 5…カンチレバー
- 6…微細な探針
- 7…配線（接続手段）
- 9…測定対象の微細配線（試料）
- 1 2…試料（半導体集積回路チップ）
- 1 7…位置検出受光器（変位検出手段）
- 1 0 6, 4 6 0, 8 7 0…光学顕微鏡（モニタ手段）
- 1 1 2…第 1 のステージ
- 1 1 6…開口部

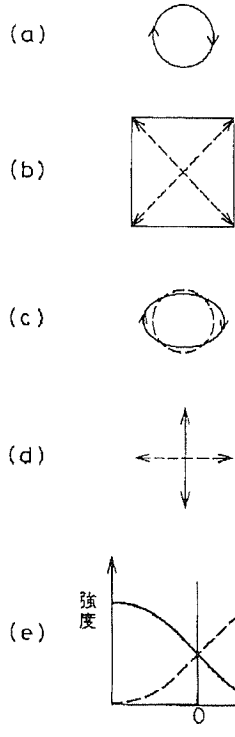
【図 1】

本発明のプローブ装置の一実施例の構成を示す斜視図



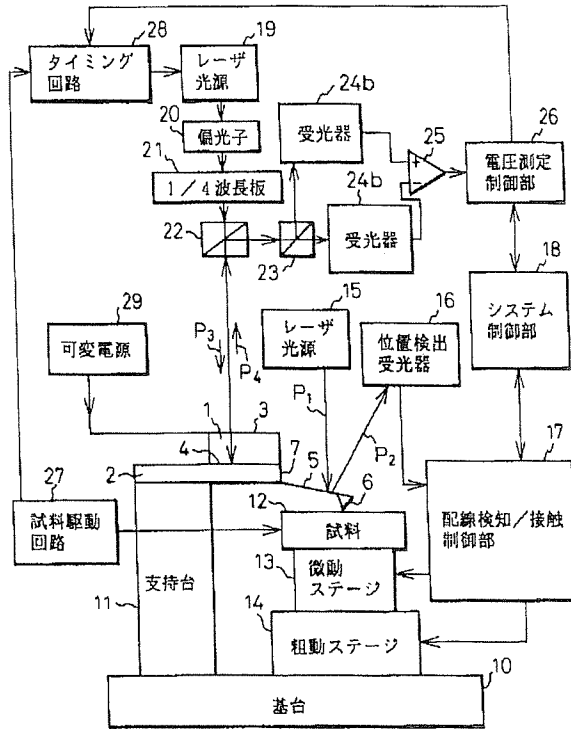
【図 3】

サンプリング光学系の偏光状態の一例を示す図



【図 2】

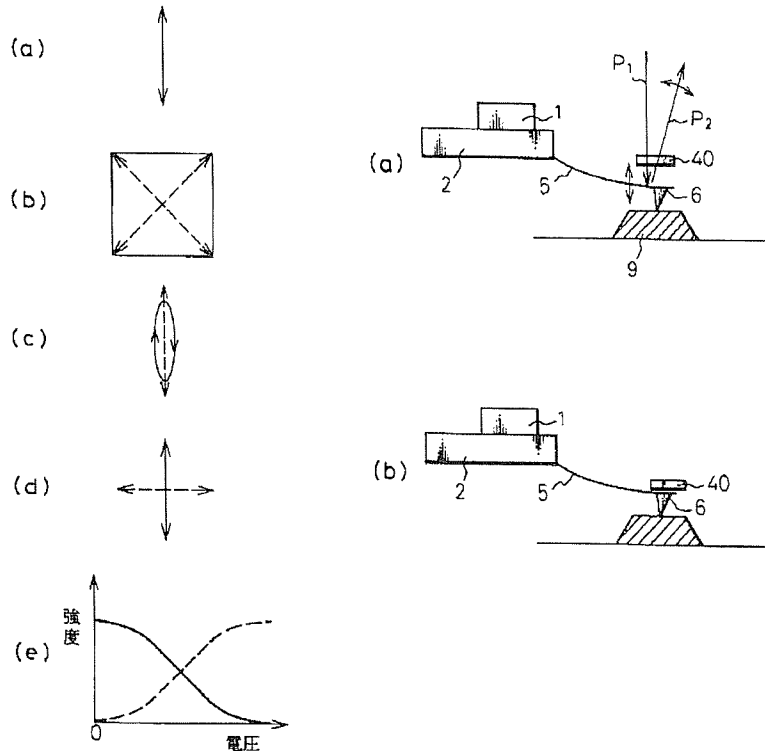
図 1 の装置を含む全体システム構成を示す図



【図 4】

【図 7】

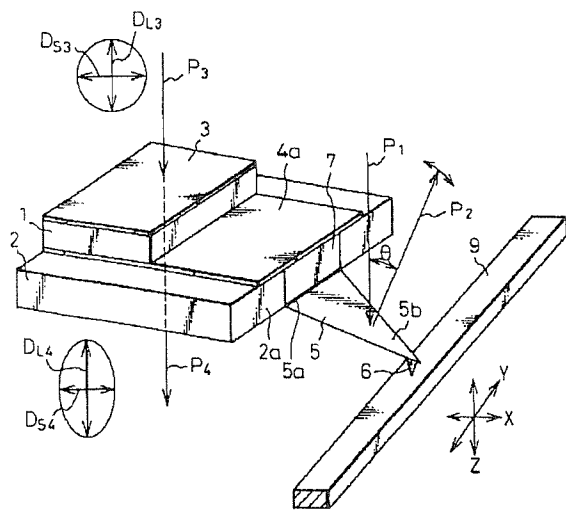
サンプリング光学系の偏光状態の他の例を示す図 図 1 のプローブ装置の第 1 の変形例を示す図





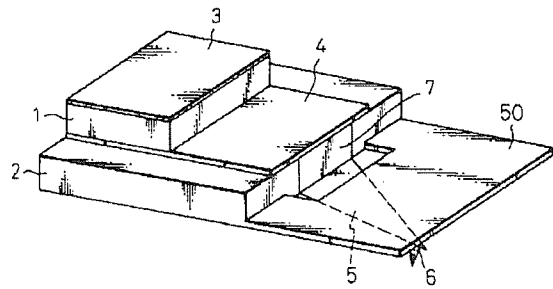
【圖 5】

本発明のプローブ装置の他の実施例の構成を示す斜視図



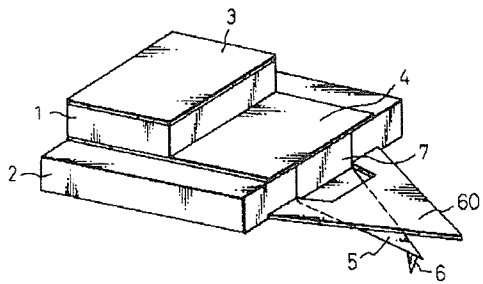
【图9】

図 8 のプローブ装置の構成を示す斜視図



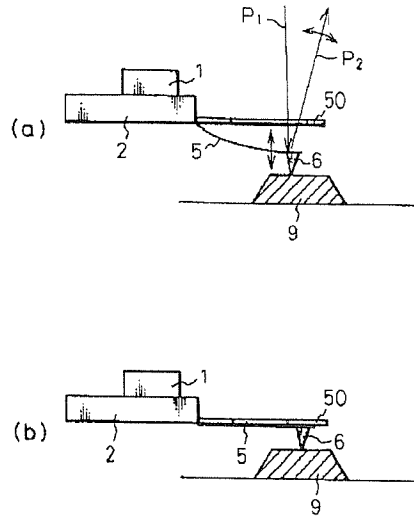
【図 1-1】

図10のブローブ装置の構成を示す斜視図



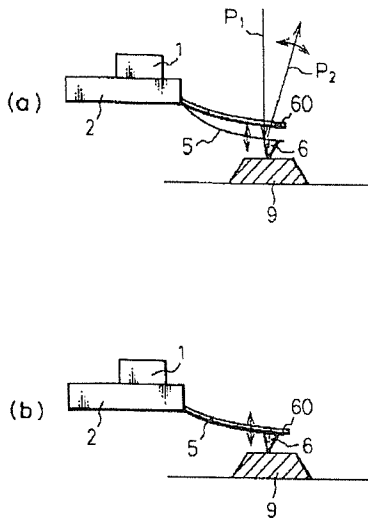
【圖 8】

図1のブローブ装置の第2の変形例を示す図



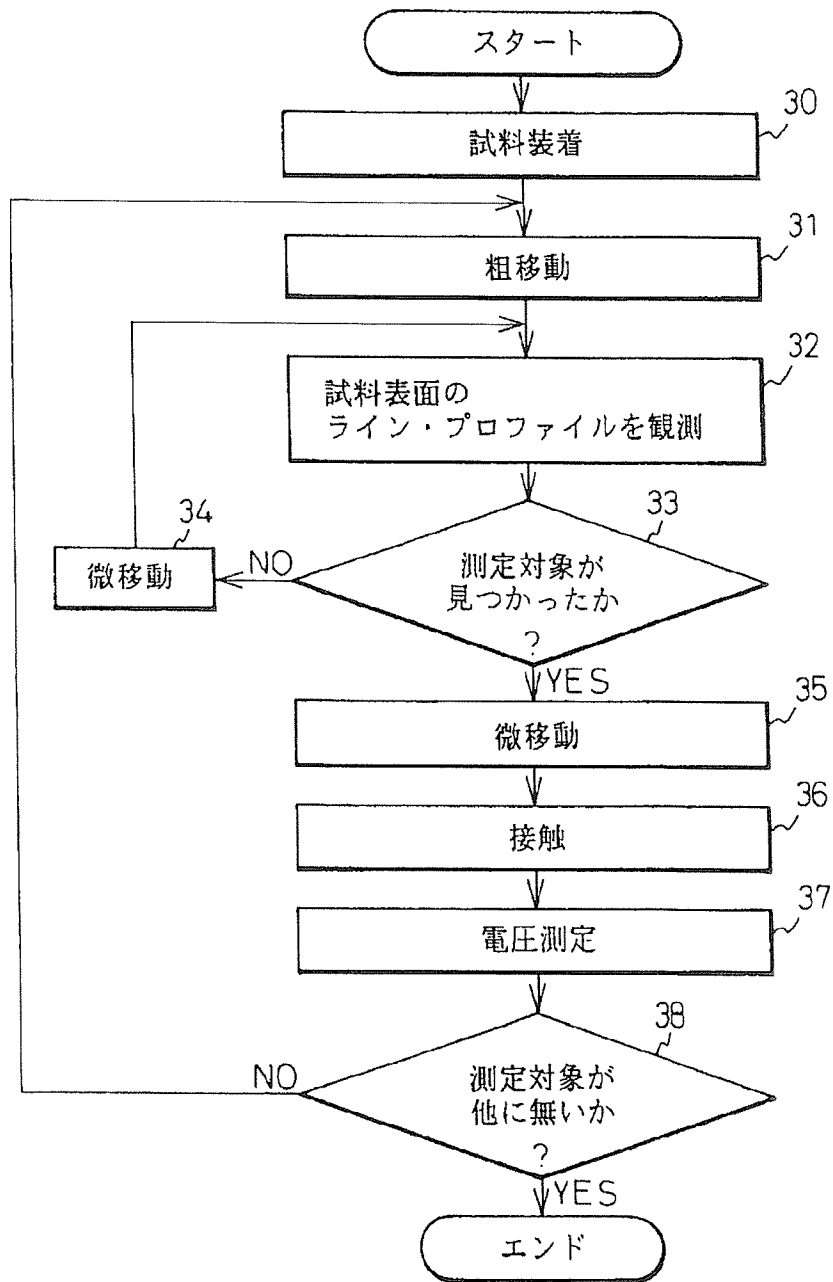
【图 10】

図1のプローブ装置の第3の変形例を示す図



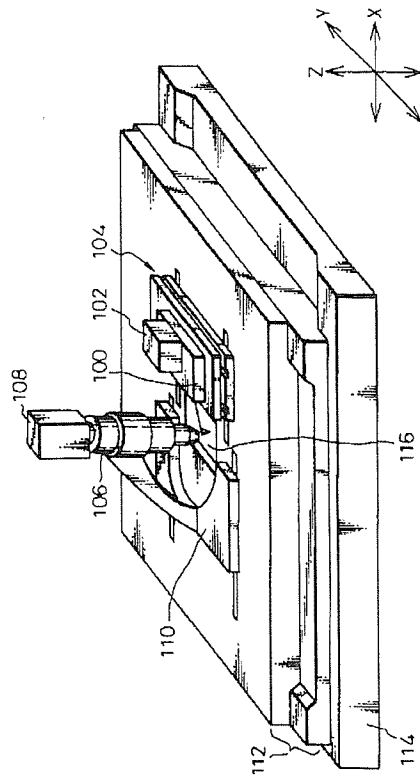
【図6】

図2の装置による電圧測定のための処理を表すフローチャート



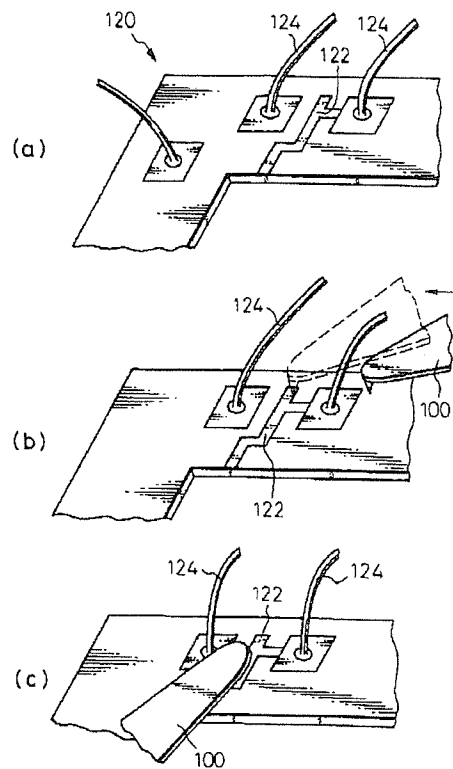
【図12】

本発明のLSI検査装置の一実施例の構成を示す斜視図



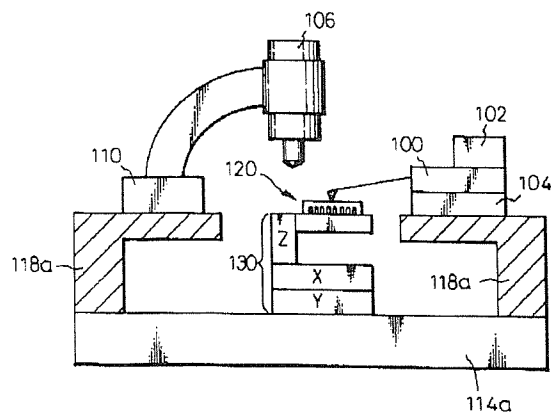
【図13】

図12の装置によるボンディング・ワイヤ近傍の配線へのプロービングの様子を示す図



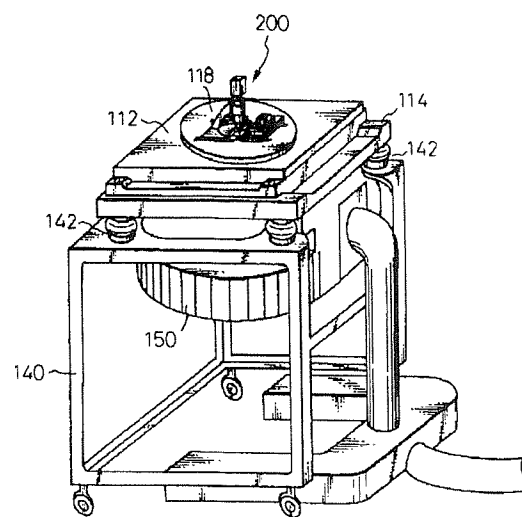
【図15】

図13に示すプロービングを可能にする他の構成例を示す図



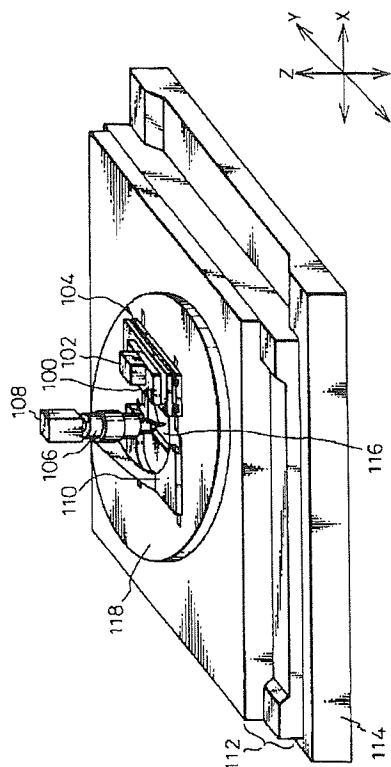
【図16】

架台を含めたLSI検査装置の全体構成を示す斜視図



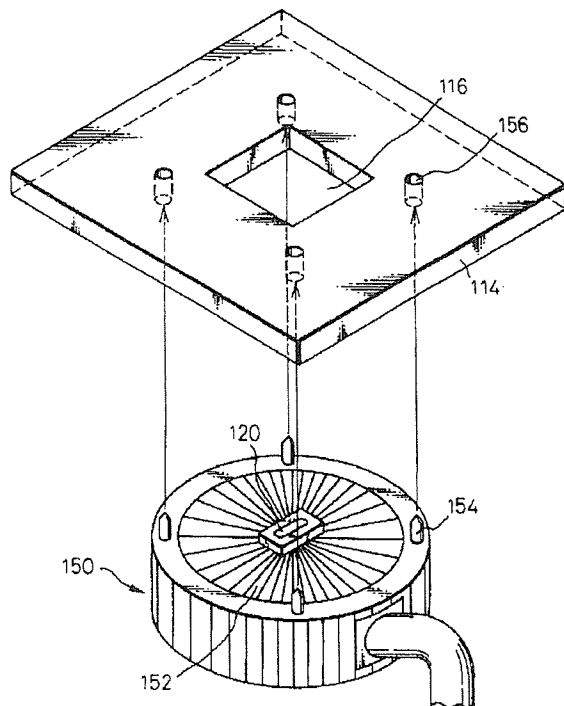
【図 1 4】

図13に示すブローピングを可能にする一構成例を示す図



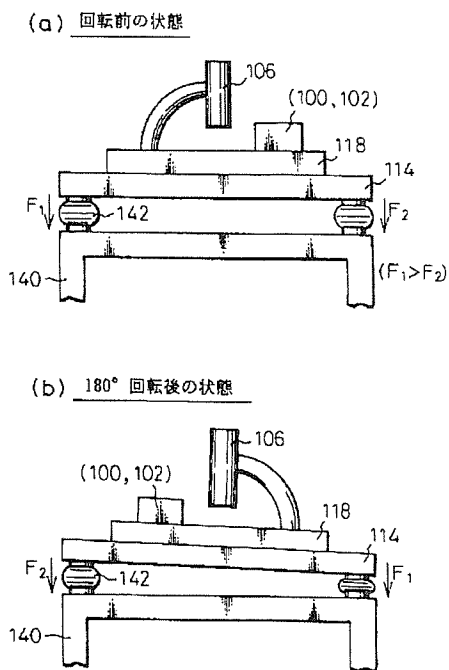
【図 1 8】

除振台に対する被検LSIの相対位置関係を固定化するための第1の構成例を示す図



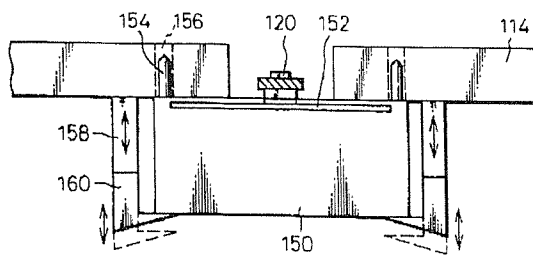
【図 1 7】

回転による重心移動に伴う除振台の傾斜の様子を示す図



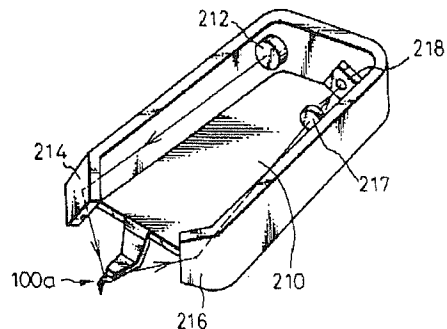
【図 1 9】

除振台に対する被検LSIの相対位置関係を固定化するための第2の構成例を示す図



【図 2 6】

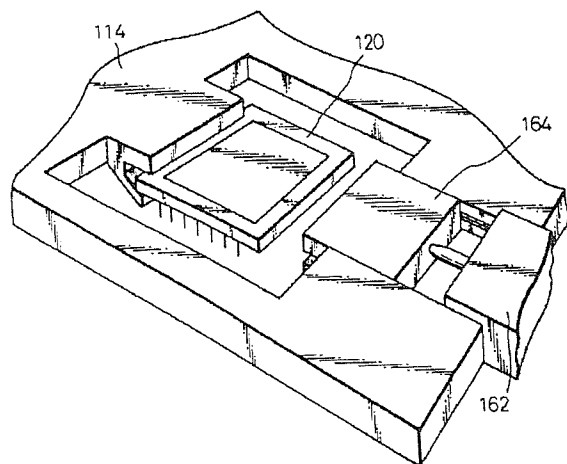
軽量化と小型化に適したAFMステージの実施例を示す斜視図



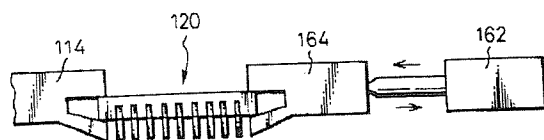
【図20】

除振台に対する被検LSIの相対位置関係を固定化するための第3の構成例を示す図

(a)

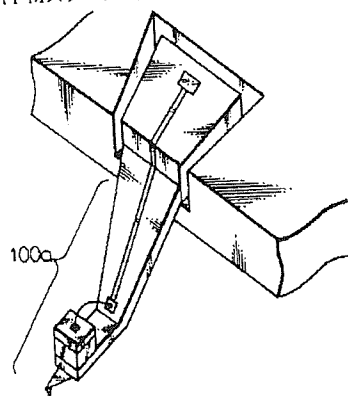


(b)



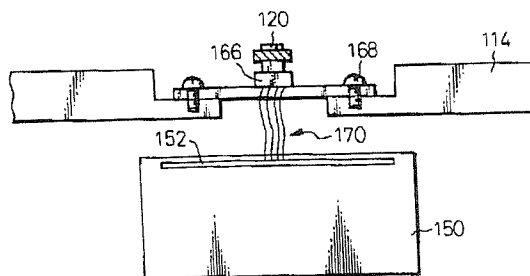
【図27】

図26のAFMステージの先端部の構造を示す斜視図



【図21】

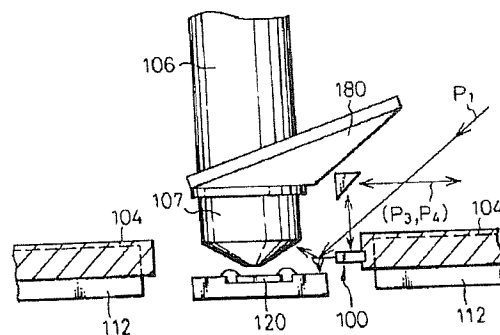
除振台に対する被検LSIの相対位置関係を固定化するための第4の構成例を示す図



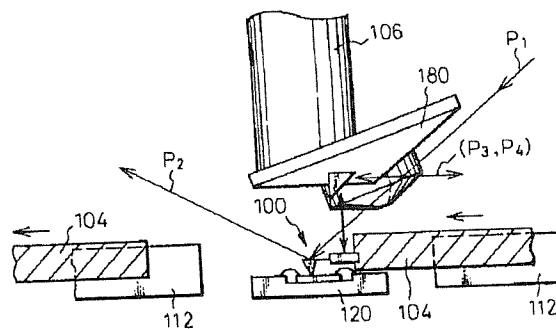
【図22】

光学顕微鏡とプローブの干渉防止のための一構成例を示す図

(a) LSI観察時

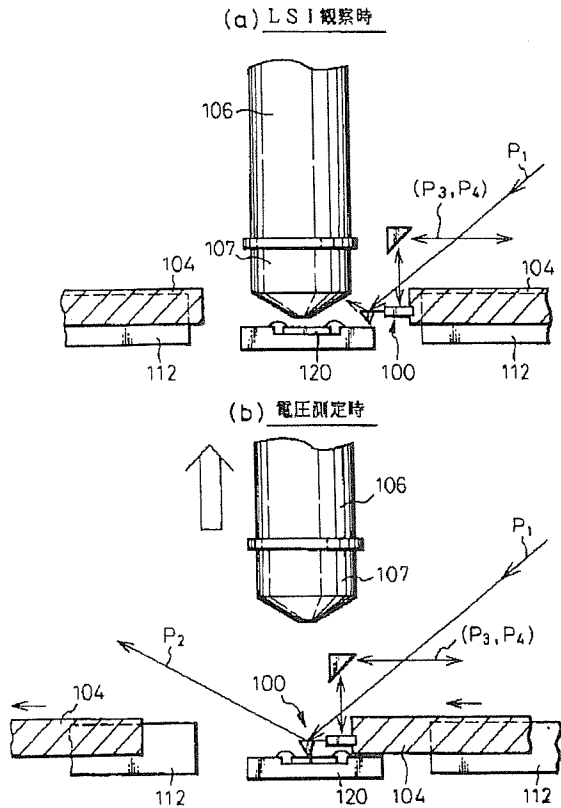


(b) 電圧測定時



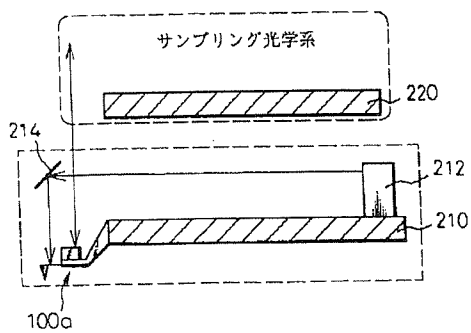
【図 2 3】

光学顕微鏡とプローブの干渉防止のための他の構成例を示す図



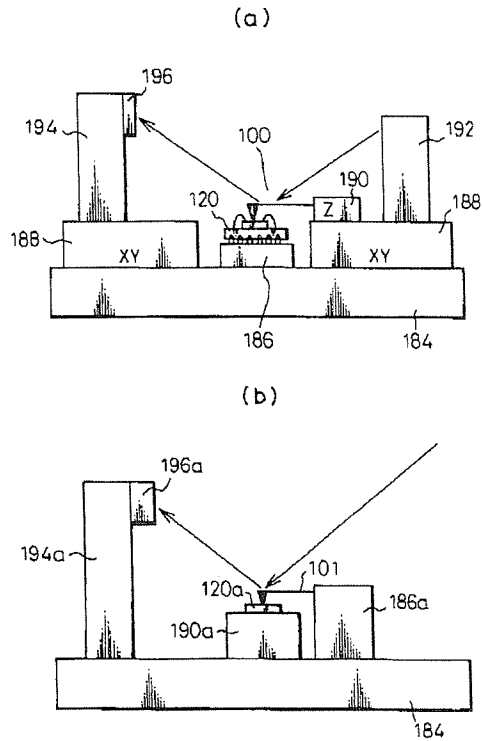
【図 2 9】

図28のA-A'線に沿った概略的な断面図



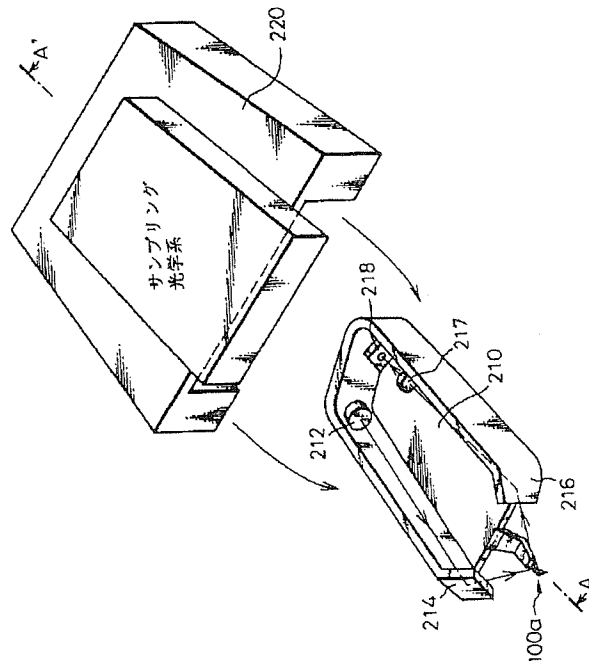
【図 2 4】

図12の実施例におけるプローブ走査系の構成を通常のAFM走査系と対比させて概略的に示した図



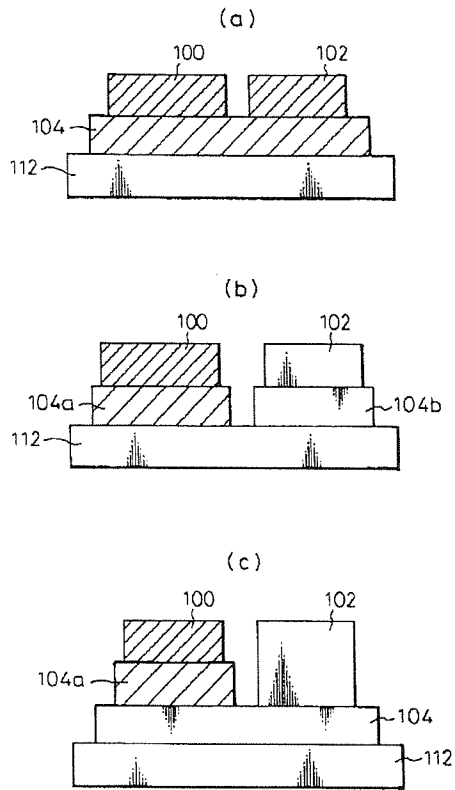
【図 2 8】

図26のAFMステージをプローブヘッド用ステージと組み合わせた一構成例を示す斜視図



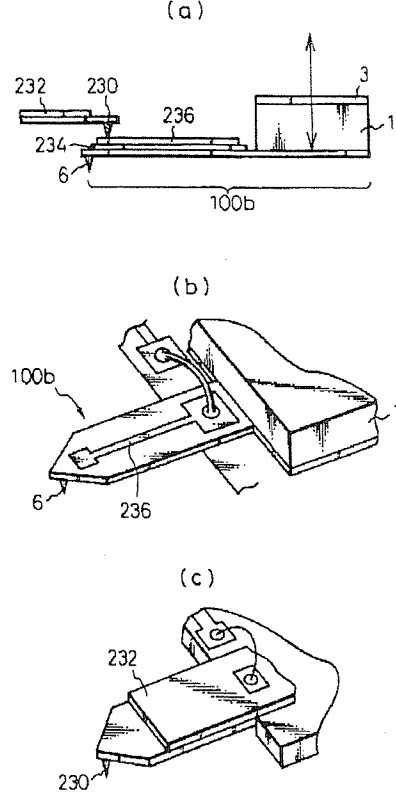
【図 2 5】

プローブ走査系の重量を軽減するためのステージの配置例を示す図



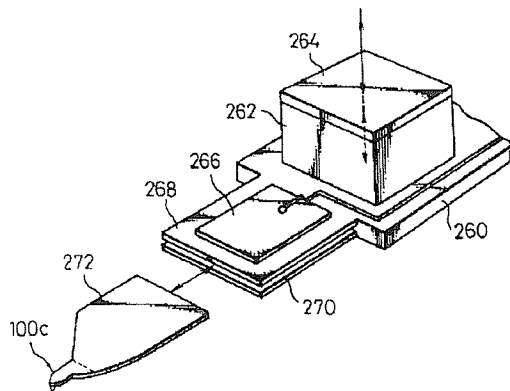
【図 3 0】

小型化に適した探針変位検出手段の構成例を示す図



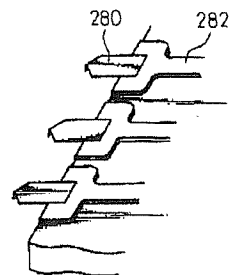
【図 3 3】

プローブの着脱機構の他の例を示す図



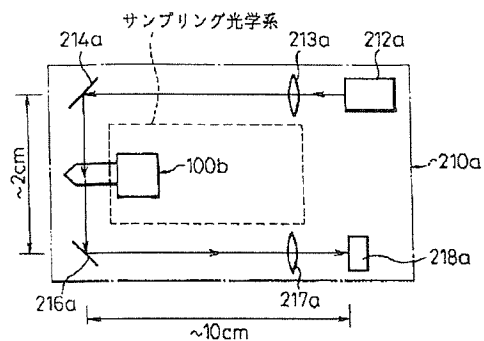
【図 3 4】

スベアプローブの保持機構を示す図

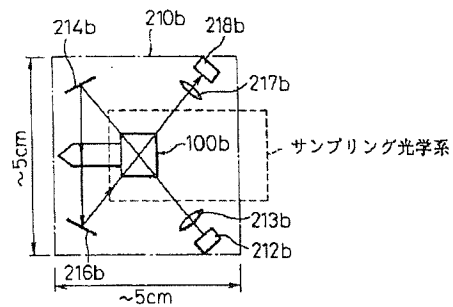


【図 3 1】

軽量化と小型化に適したAFM光学系の構成例を示す平面図  
(a)



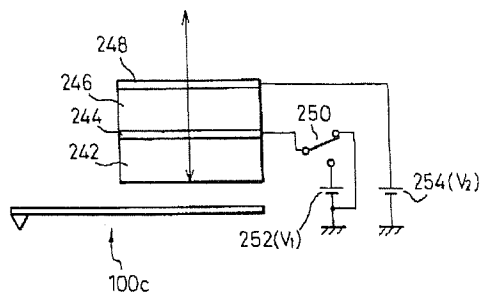
(b)



【図 3 2】

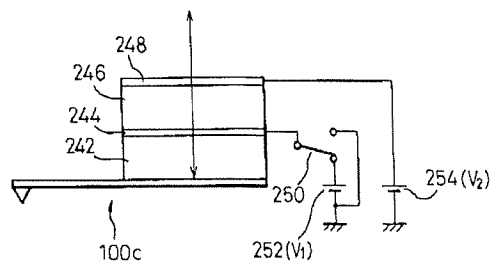
プローブの着脱機構の一例を示す図  
(a)

リリース状態



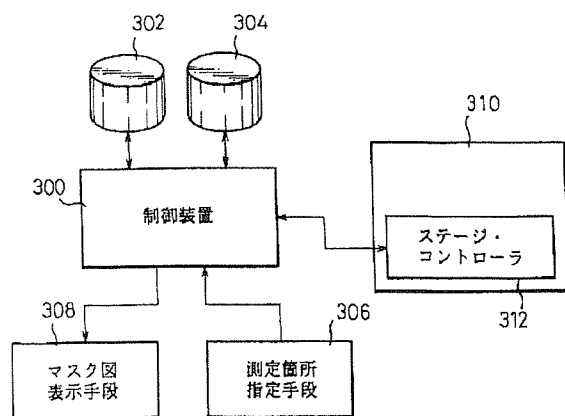
(b)

保持状態



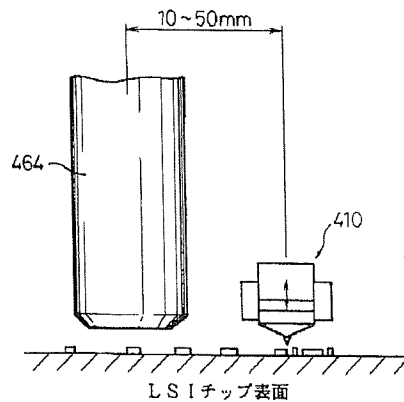
【図 3 5】

電圧測定箇所的位置決めを容易化に適したLSI検査装置  
の構成を示すブロック図



【図 4 5】

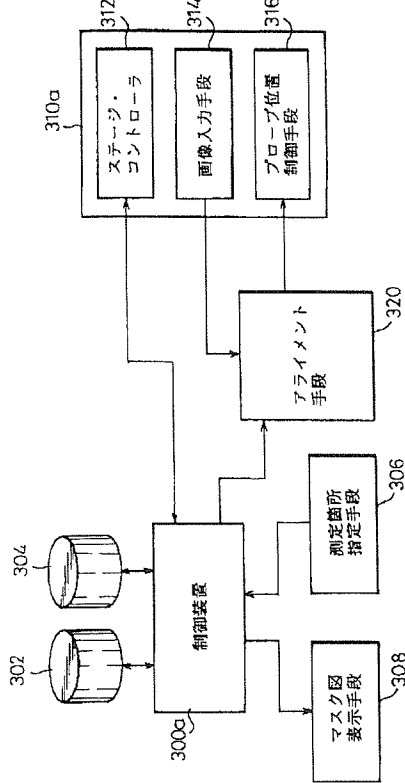
光学顕微鏡とAFMプローブを選択的に使用する場合の構成図





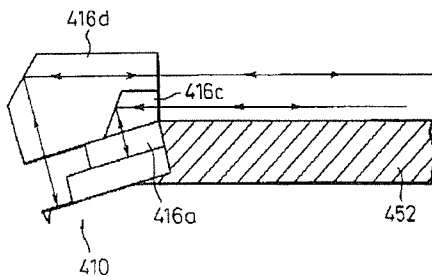
【図36】

パターンマッチングによるアライメント補正を可能にしたLSI検査装置の構成を示すブロック図



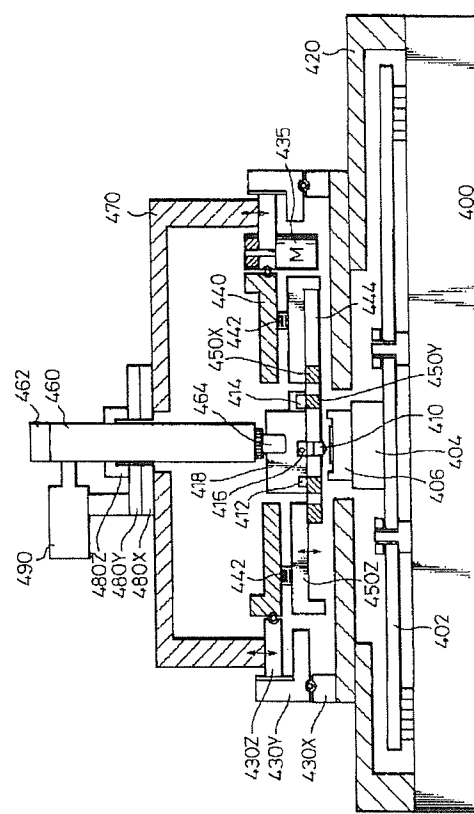
【図49】

低プロファイルのレーザ光学系を実現するレーザ光の光路のさらに他の実施例を示す図



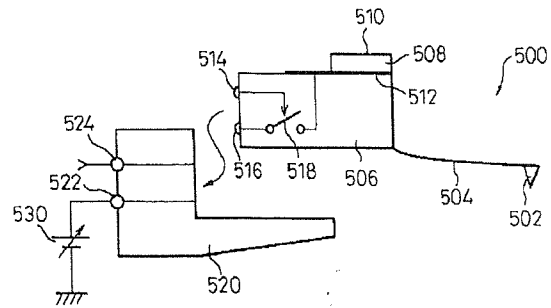
【図39】

本発明のLSI検査装置の具体的な配置・構造の一例を一部断面的に示した図



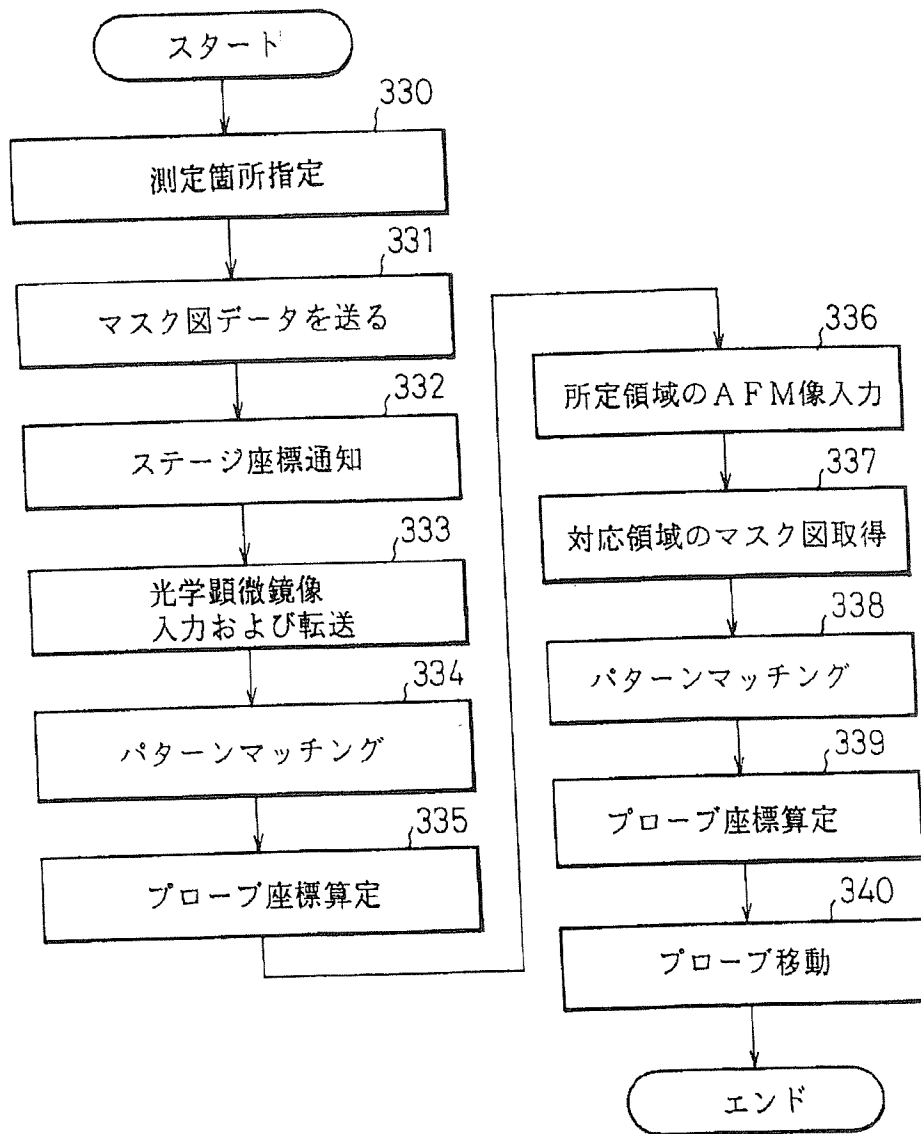
【図50】

本発明のLSI検査装置の他の実施例におけるプローブ装置の構成を示す図



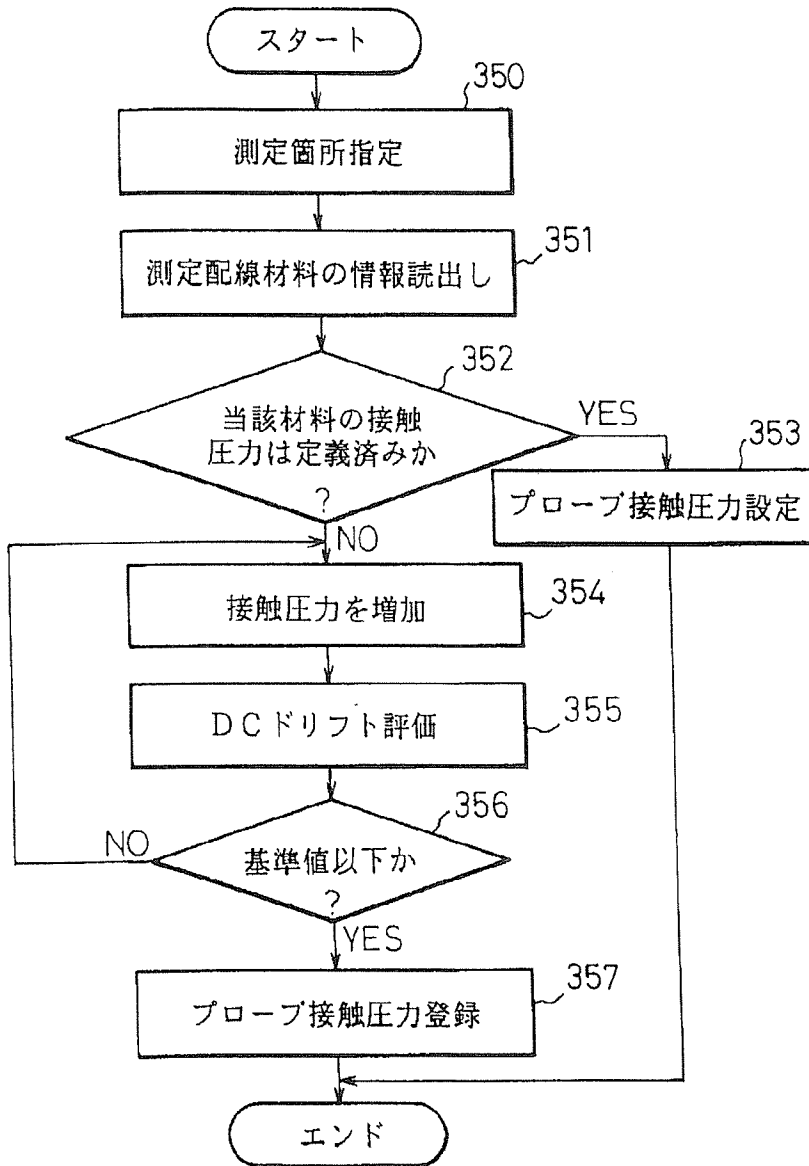
【図37】

図36の装置によるアライメント補正のための処理を表す  
フローチャート



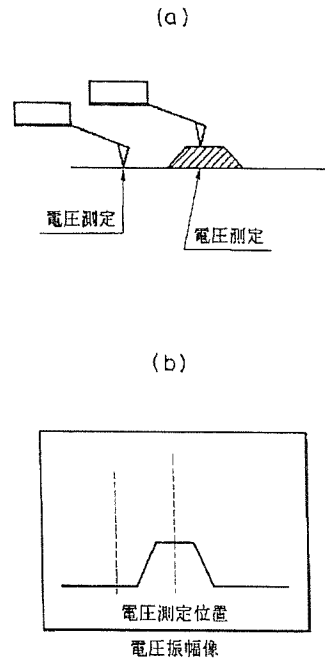
【図38】

図36の装置によるプローブ接触圧力決定のための処理を表すフローチャート



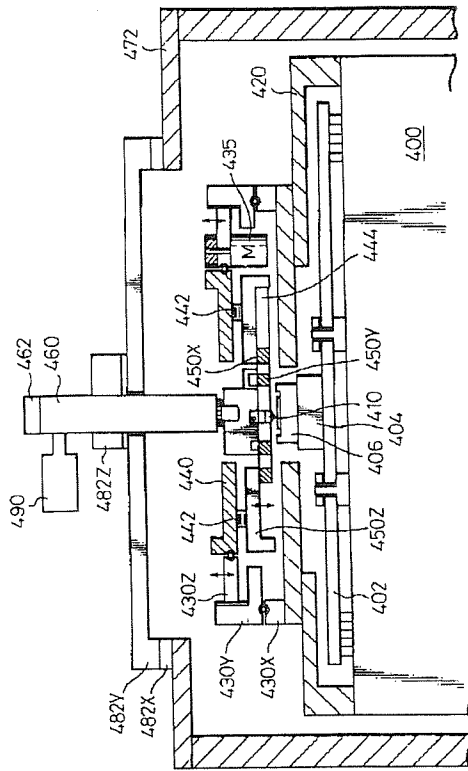
【図61】

配線位置探索を実現する手段のさらに他の例を説明するための図



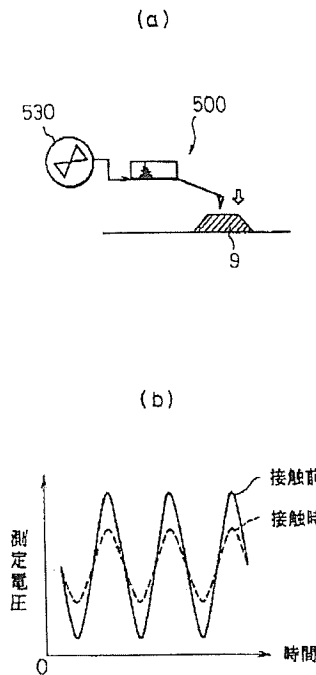
【図 4 0】

本発明のLSI検査装置の具体的な配置・構造の他の例を一部断面的に示した図



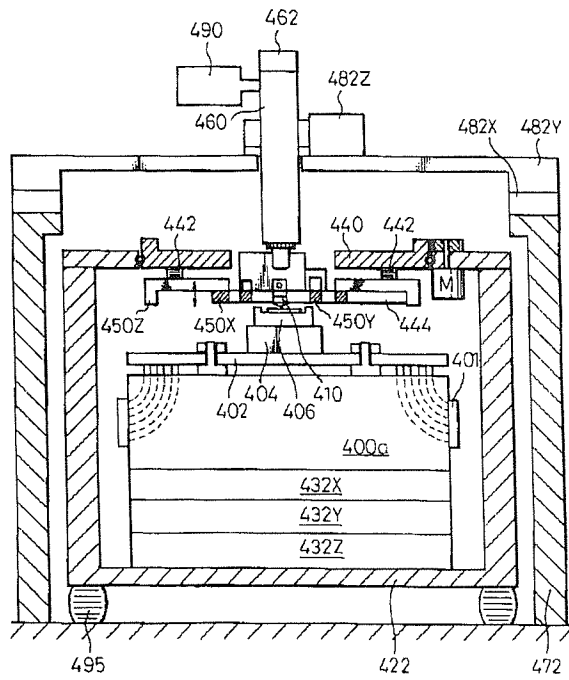
【図 5 2】

図50の装置による回路特性の測定方法を説明するための図



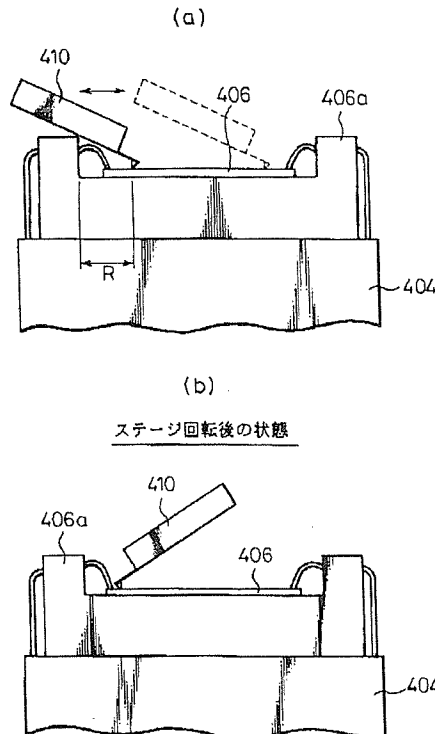
【図 4 1】

本発明のLSI検査装置の具体的な配置・構造のさらに他の例を一部断面的に示した図



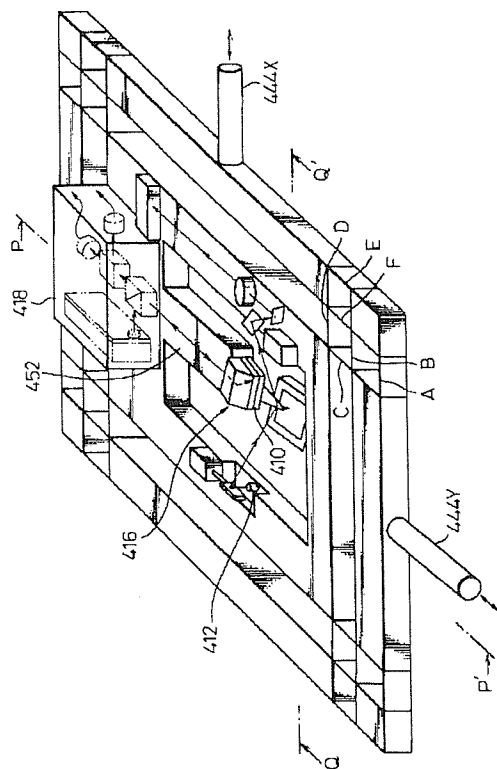
【図 4 4】

回転ステージの必要性を説明するための図



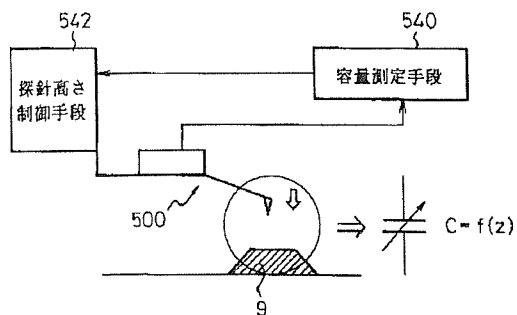
【図 4 2】

微動ステージとその搭載物の構成を概略的に示した斜視図



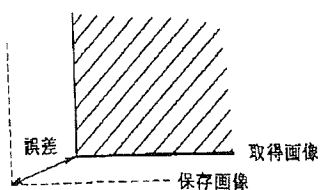
【図 5 3】

図50の装置による探針高さの制御方法を説明するための図



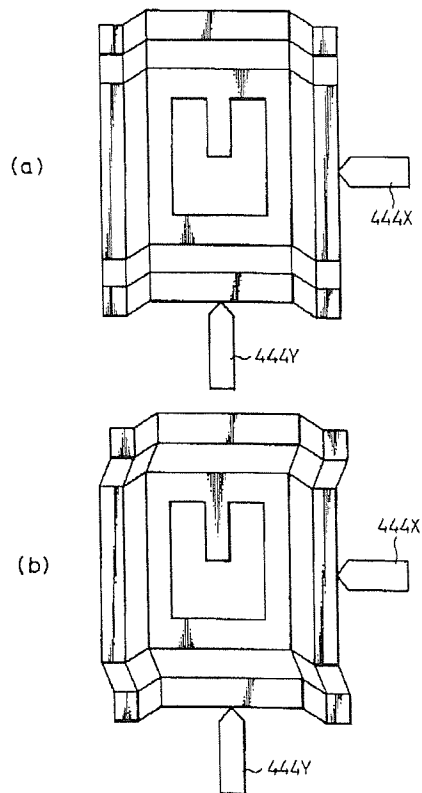
【図 8 0】

元の地点へプローブを移動させた時の位置ずれの様子を示す図



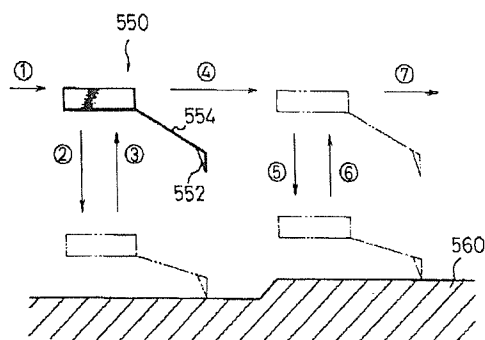
【図 4 3】

図42の微動ステージの動作を説明するための図



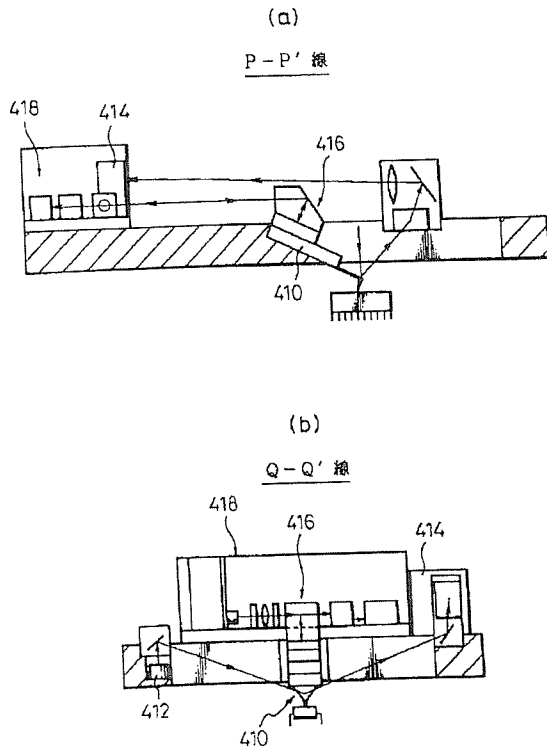
【図 5 4】

試料の損傷防止に適したプローブ制御方法の概念を示す図



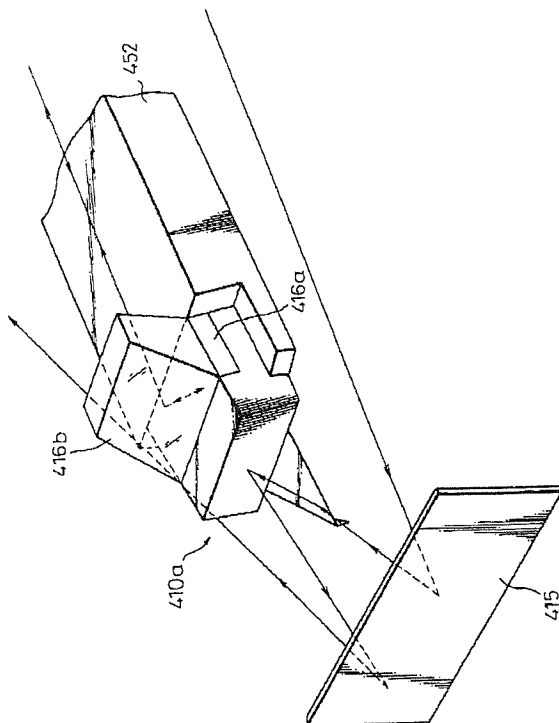
【図 4 6】

図42のP-P'線およびQ-Q'線に沿った概略的な断面図



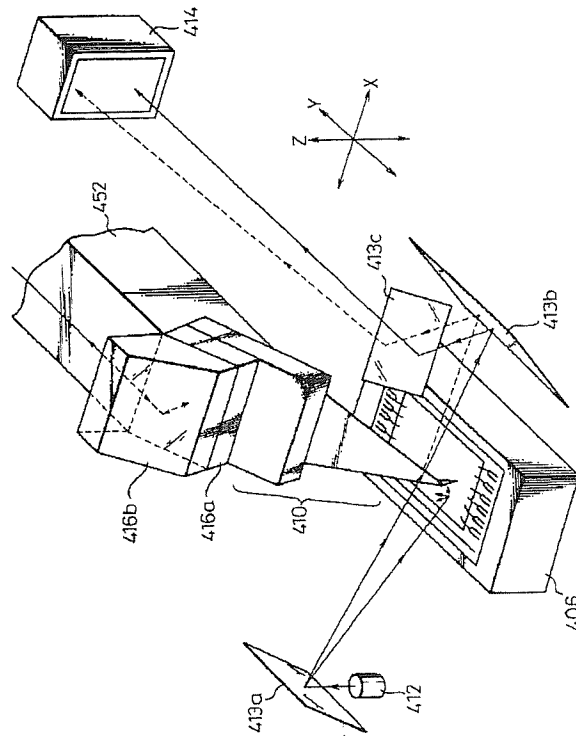
【図 4 8】

低プロファイルのレーザ光学系を実現するレーザ光の光路の他の実施例を示す図



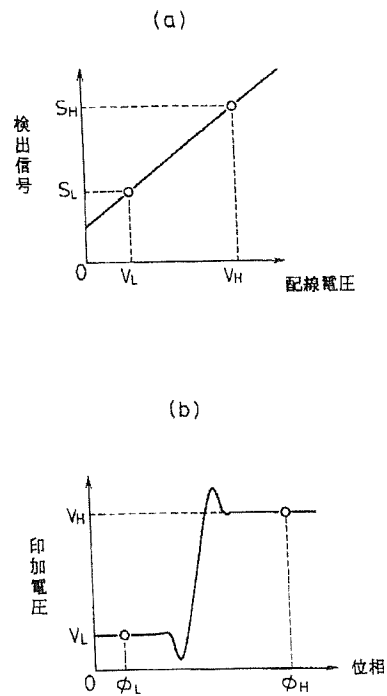
【図 4 7】

図42におけるレーザ光の光路を詳細に示した図



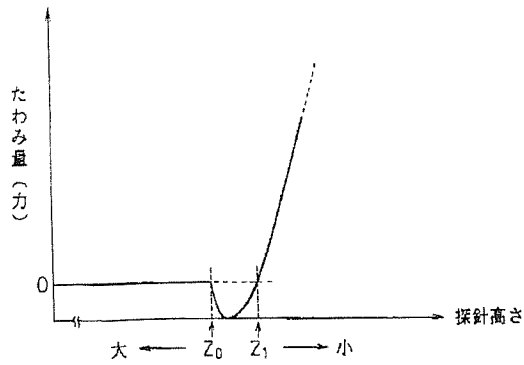
【図 5 1】

図50の装置による検出信号と電圧の対応関係の取得方法を説明するための図



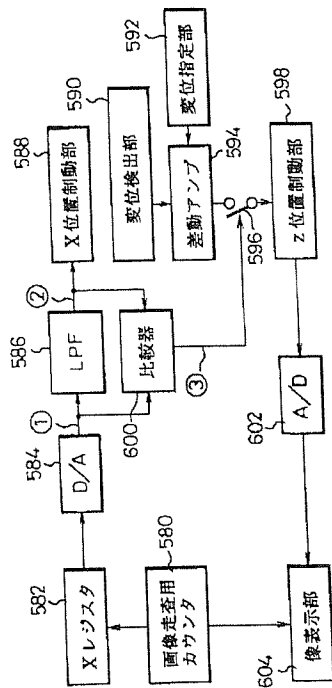
【図55】

探針高さとカンチレバーのたわみ量の関係を示す図



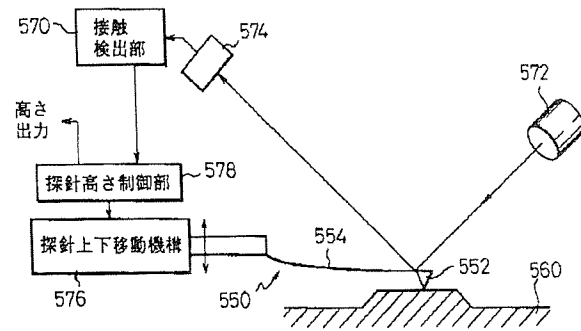
【図57】

試料の損傷防止に適したプローブ制御を実現する一実施例の構成を示す図



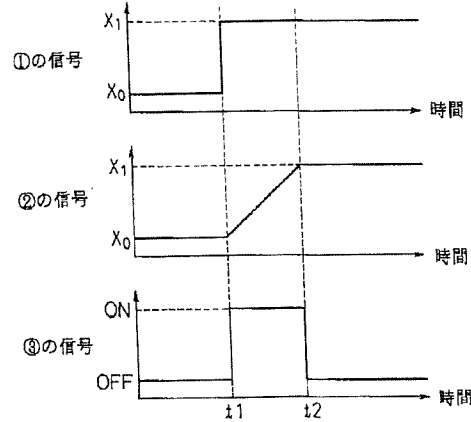
【図56】

図54のプローブ制御方法を実現する一実施例の構成を示す図



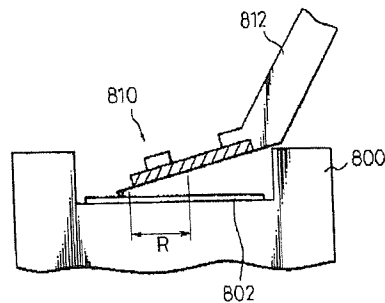
【図58】

図57の構成における各部の動作タイミング図



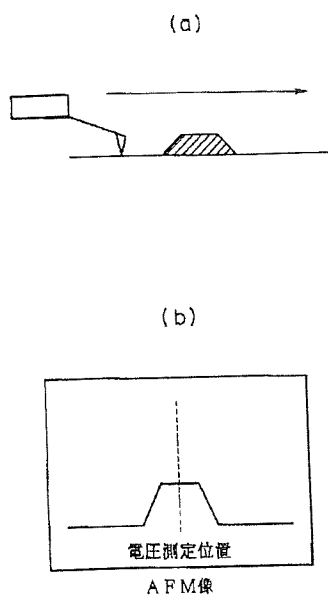
【図69】

従来形のプローブ装置の問題点を説明するための図



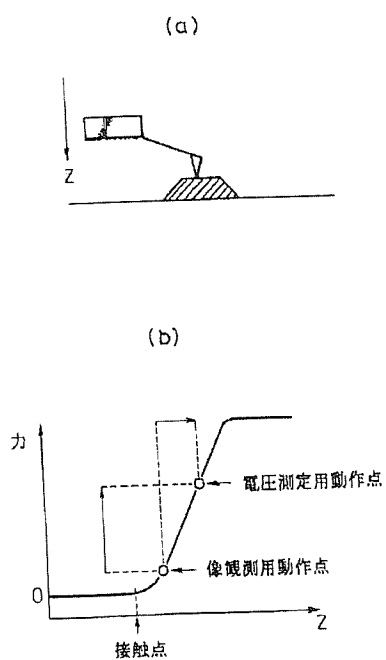
【図59】

配線位置探索を実現する手段の一例を説明するための図



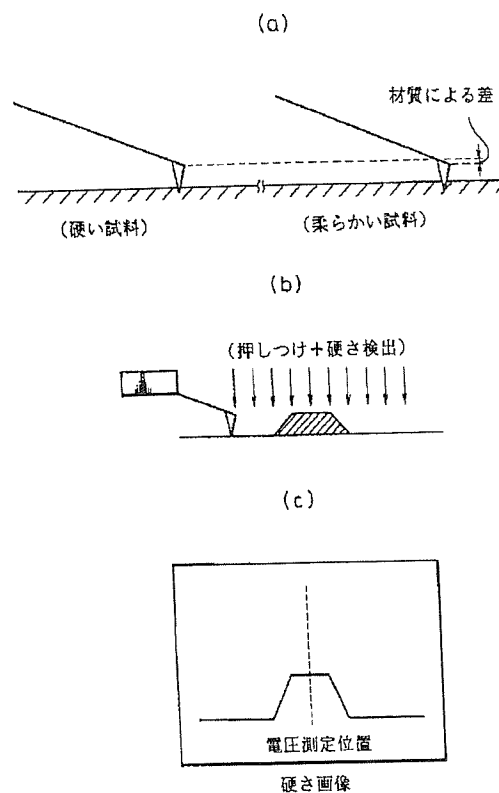
【図62】

配線と探針の間の電気的な接続を保证する手段の一例を説明するための図



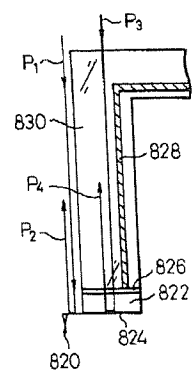
【図60】

配線位置探索を実現する手段の他の例を説明するための図



【図70】

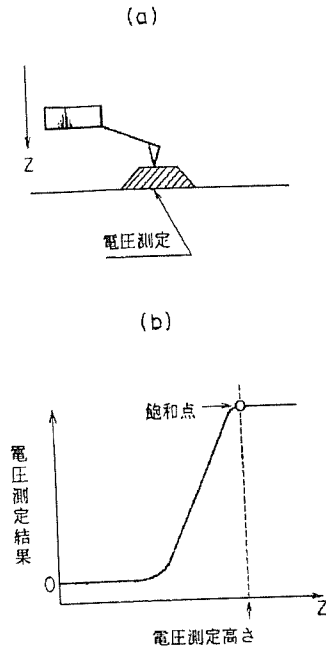
図69の問題点を解決したプローブ装置の一構成例を示す図





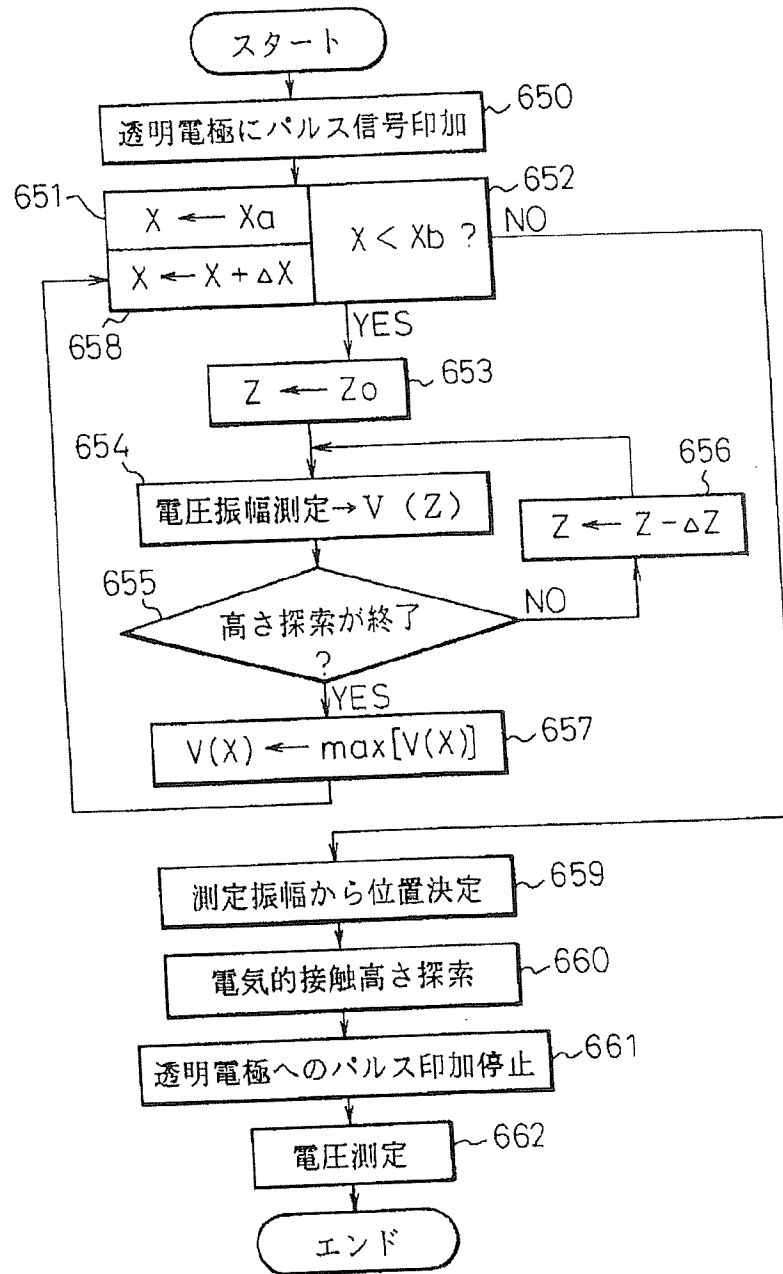
【図63】

配線と探針の間の電氣的な接続を保証する手段の他の例を説明するための図



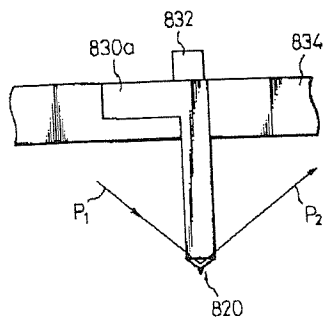
【図64】

配線位置探索と電氣的接続の保証に基づいた電圧測定の実処理を表すフローチャート



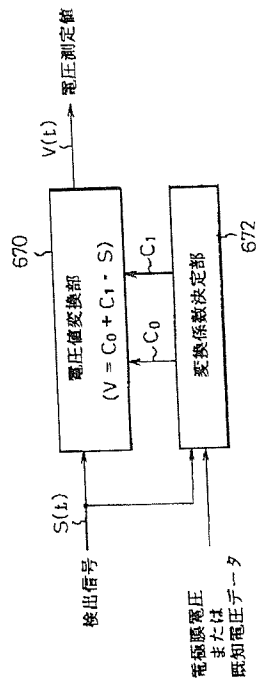
【図72】

図70のプローブ装置の他の変形例を示す図



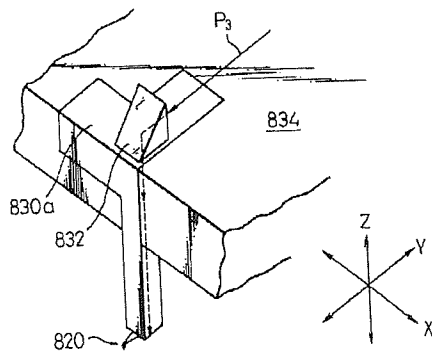
【図65】

電気光学効果を利用した電圧測定の高速化に適したLSI検査装置の要部の構成を示すブロック図



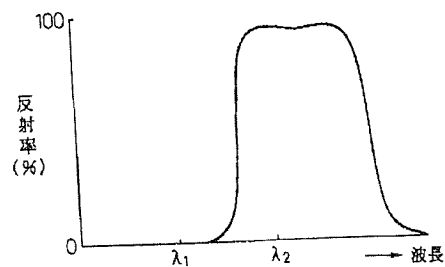
【図71】

図70のプローブ装置の一変形例を示す図



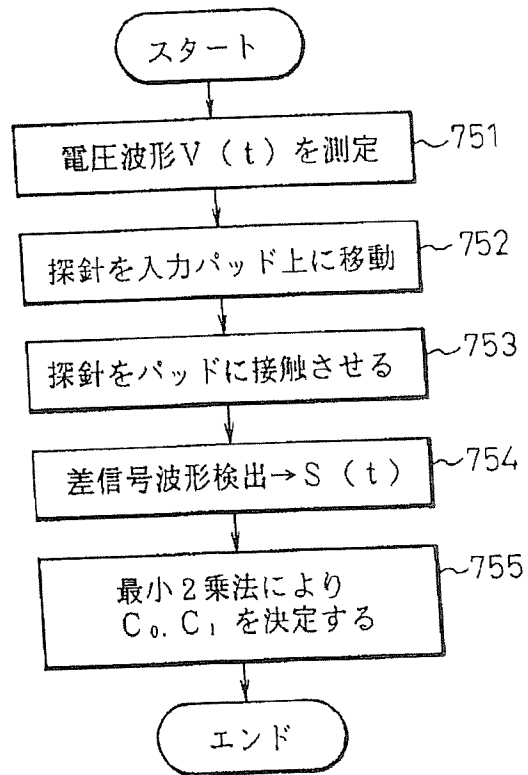
【図75】

図74のカンチレバーの反射率と波長の関係を示す図



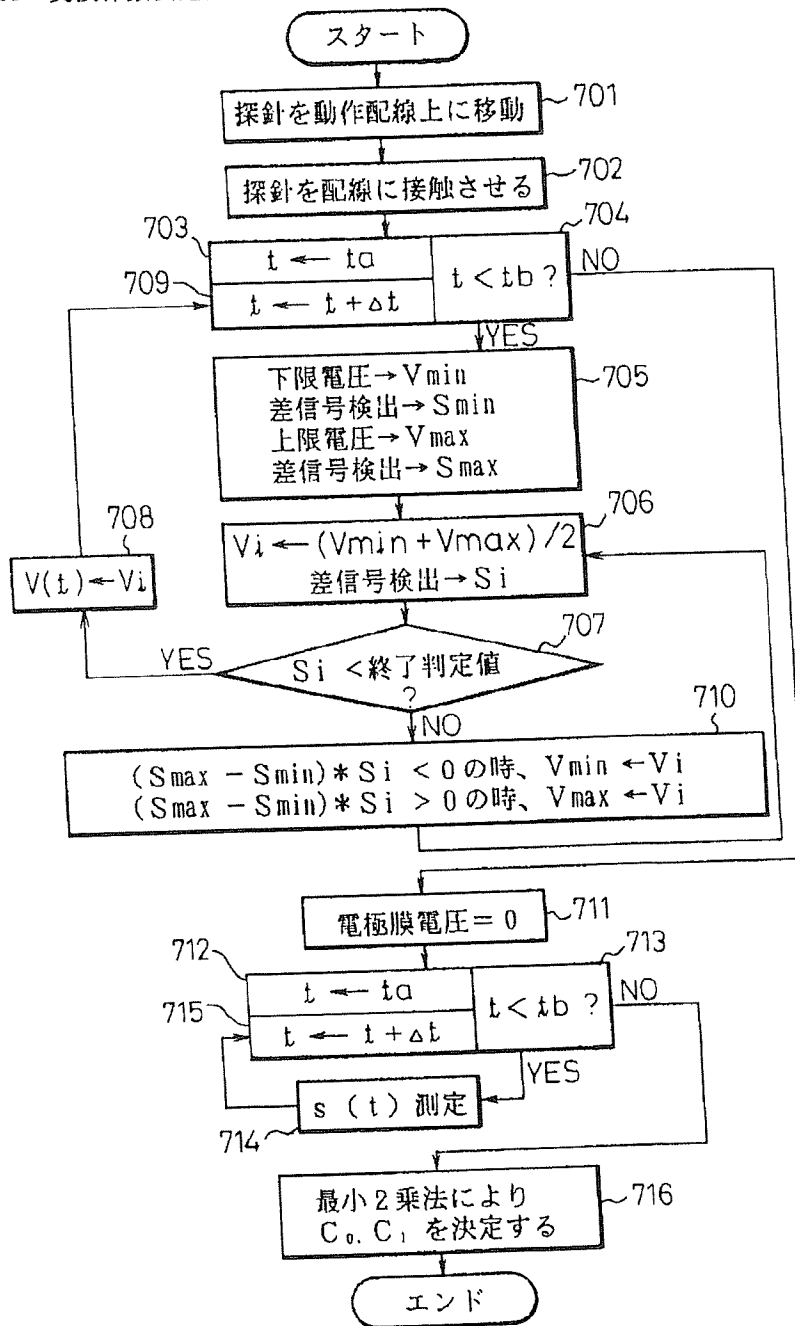
【図68】

図65の変換係数決定部が行う処理のたに他の例を表すフローチャート



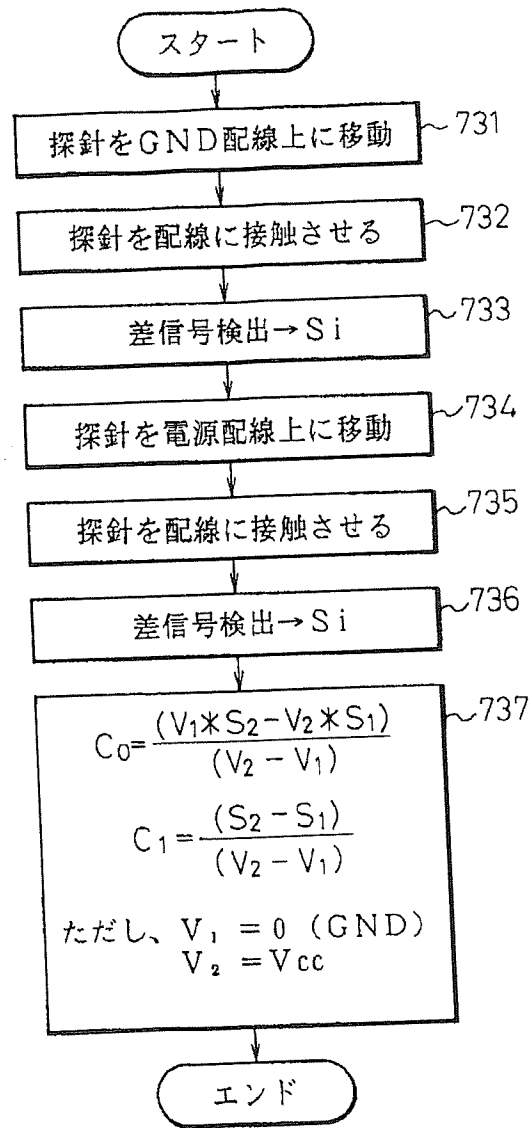
【図66】

図65の変換係数決定部が行う処理の一例を表すフローチャート



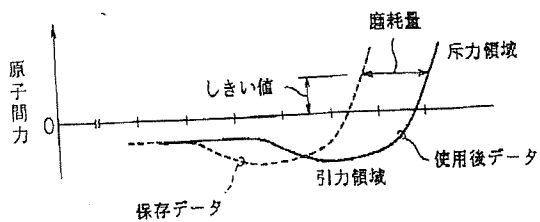
【図67】

図65の変換係数決定部が行う処理の他の例を表すフローチャート



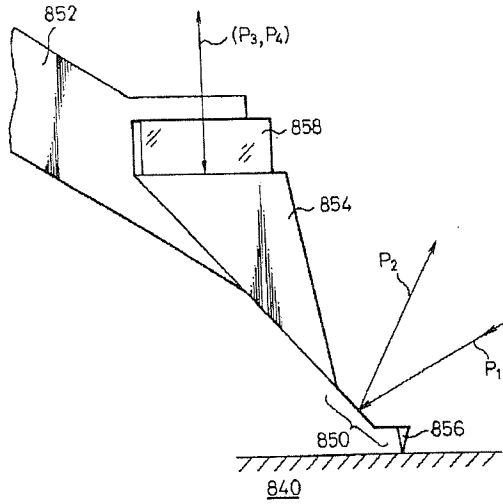
【図81】

探針の磨耗量を決するためのフォース・カーブの説明図



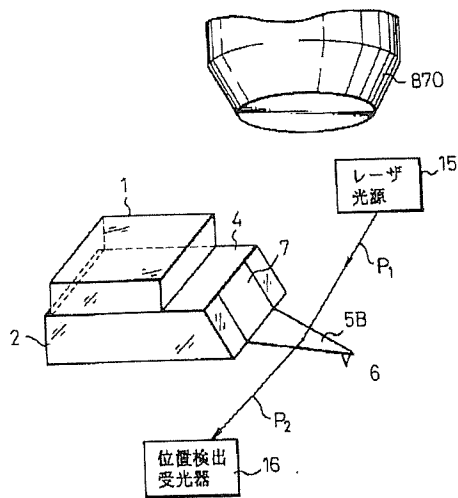
【図 7 3】

図69の問題点を解決したプローブ装置の他の構成例を示す図



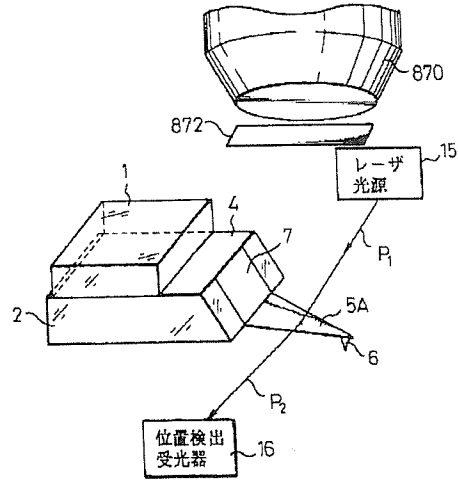
【図 7 6】

試料観察および配線探索の容易化に適したプローブ装置の他の構成例を示す図



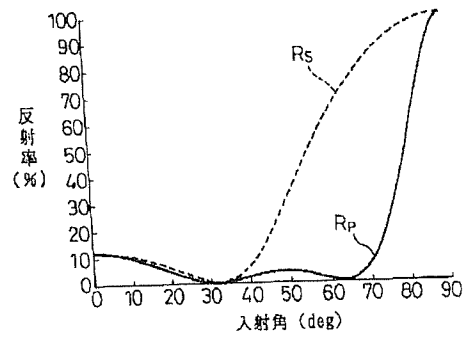
【図 7 4】

試料観察および配線探索の容易化に適したプローブ装置の一構成例を示す図



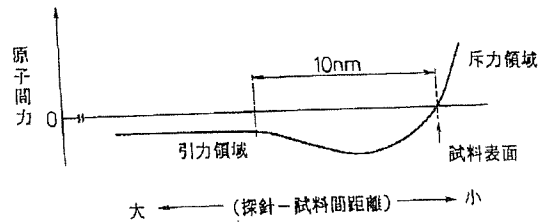
【図 7 7】

図76のカンチレバーの反射率とレーザー光入射角の関係を示す図



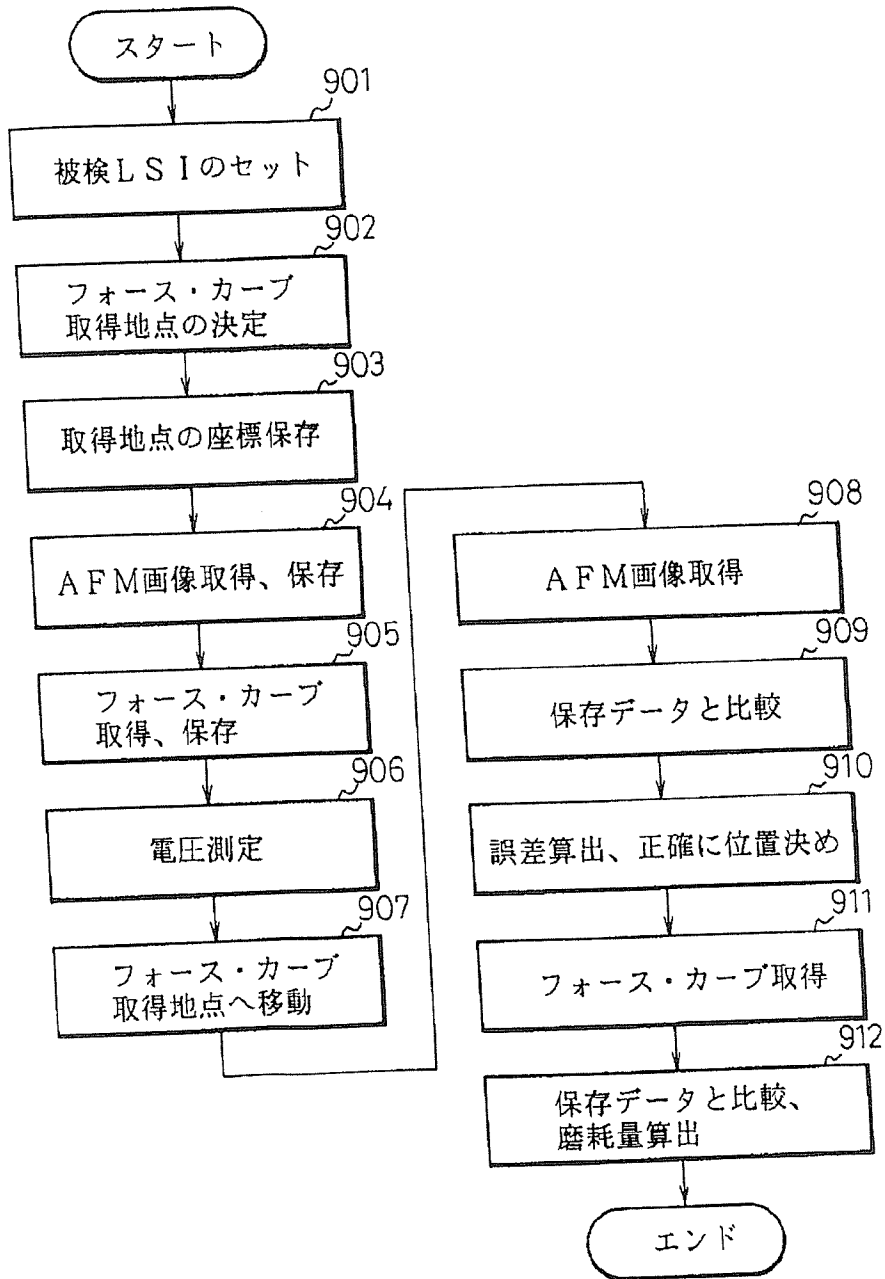
【図 7 8】

フォース・カーブの説明図



【図79】

探針の交換時期を決定するのに好適なLSI検査装置の  
動作フローチャート



フロントページの続き

(72) 発明者 伊藤 昭夫  
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(72) 発明者 尾崎 一幸  
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(72) 発明者 若菜 伸一  
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内

(72) 発明者 後藤 善朗  
神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地  
富士通株式会社内